

MAATILOJEN YHTEISTYÖN JA VÄHENNETYN TYPPILANNOITUKSEN VAIKUTUS TILOJEN KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖIHIN

Aki Niemelä
Maisterintutkielma
Helsingin yliopisto
Maataloustieteiden laitos
Kasvinviljelytiede
2016

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Laitos — Institution — Department Maataloustieteiden laitos	
Tekijä — Författare — Author Aki Niemelä			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Maatilojen yhteistyön ja vähennetyn typpilannoituksen vaikutus tilojen kasvihuonekaasupäästöihin			
Oppiaine — Läroämne — Subject Kasvinviljelytiede			
Työn laji — Arbetets art — Level Maisterintutkielma		Aika — Datum — Month and year 3/2016	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 64 s.
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Ilmakehän kasvihuonekaasupitoisuudet ovat kasvaneet huomattavasti teollistumisen myötä. KHK-pitoisuuksien nousu on johtanut ilmakehän lämpenemiseen, minkä lisäksi tulevaisuuden ilmastoon ennustetaan muuttuvan merkittävästi KHK-päästöjen takia. Maatalous on merkittävä KHK-päästöjen lähde, ja EU onkin asettanut tavoitteen, jonka mukaan maatalouden on pystyttävä leikkaamaan KHK-päästöjään.</p> <p>Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tutkimukseen osallistuneiden tilojen kasvin- ja eläintuotannon KHK-päästöt alkutilanteessa sekä analysoida teollisten typpilannoitteiden käytön vähentämisen vaikutuksia tilojen KHK-päästöihin kahden tilayhteistyömallin avulla. Lisäksi tavoitteena oli kehittää maatilojen KHK-päästöjen laskentaan soveltuva Excel-pohjainen laskentatyökalu.</p> <p>Tutkimusaineistona käytettiin yhdeksältä todelliselta maatilalta kerättyä vuoden 2013 dataa. Tiloista muodostettiin tilapareja, joille simuloitiin kaksi erilaista yhteistyömallia. Tilojen alkutilanteen ja yhteistyömallien KHK-päästöt laskettiin tutkimusta varten kehitetyllä FarmCALC 2.1 – laskurilla.</p> <p>Tutkimuksessa havaittiin, että yhteistyömallit vähensivät tiloilta myytävän kasvintuotannon tuotteiden KHK-päästöjä 11–23 % ja sianlihan KHK-päästöjä 13–20 %. Maidon- ja naudanlihantuotannon KHK-päästöihin yhteistyömallit eivät merkittävästi vaikuttaneet.</p> <p>Tutkimuksessa havaitut muutokset eläintuotannon KHK-päästöissä selittyivät rehuntuotannon KHK-päästöjen sekä ruokinnan muutoksilla. Näiden muutosten yhdysvaikutuksen takia naudatilojen KHK-päästöissä ei havaittu muutoksia. Tutkimuksessa käytettyyn laskentamenetelmään sisältyi kuitenkin paljon epävarmuustekijöitä ja menetelmä oli herkkä tuotantomäärien muutoksille, joten tutkimuksen KHK-päästöjen laskentaan sisältyi epävarmuutta. Epävarmuustekijöistä huolimatta tutkimuksen tulokset vastasivat hyvin aikaisempien tutkimusten tuloksia, joten tulokset olivat hyvin rohkaisevia ja lisätutkimus aiheesta on suositeltavaa.</p> <p>Tämä tutkimus oli osa ”Kasvinviljely- ja kotieläintilojen yhteistyö – avain tuotannon kestävään tehostamiseen” – hanketta (KESTE).</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Ilmastomuutos, kasvihuonekaasupäästöt, yhteistyö, typpilannoitteet, kasvintuotanto, eläintuotanto, maatalous.			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Maataloustieteiden laitos ja Viikin kampuskirjasto			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Työtä ohjasi Mervi Seppänen			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty Faculty of Agriculture and Forestry		Laitos — Institution — Department Department of Agricultural Sciences	
Tekijä — Författare — Author Aki Niemelä			
Työn nimi — Arbetets titel — Title The effects of farms co-operation and reduced nitrogen fertilization to greenhouse gas emissions from the Finnish farms			
Oppiaine — Läroämne — Subject Crop Science			
Työn laji — Arbetets art — Level Master's thesis		Aika — Datum — Month and year March 2016	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 64 p.
<p>Tiivistelmä — Referat — Abstract</p> <p>Atmospheric concentration of greenhouse gases has increased significantly since the pre-industrial era. Global warming is a major issue in the modern world and it has been predicted that climate will change dramatically in the next few decades due to the growing GHG concentrations. Agriculture is a major source of GHG emissions and the EU has set a target for the agricultural sector to reduce GHG emissions.</p> <p>The aim of this study was to calculate GHG emissions for the plant and animal production of studied Finnish farms for the year 2013. The aim was also to analyse the effects of reduced synthetic nitrogen fertilizer use to agricultural GHG emissions with help of two co-operation model for the farms. Another goal was to develop an Excel-based calculator to calculate GHG emissions from farms.</p> <p>Data for this study was collected from 9 actual Finnish farms. The farms were paired and simulated co-operation models were applied. GHG emissions were calculated with developed FarmCALC 2.1 – calculator for the farm pairs before and after co-operation.</p> <p>Co-operation models reduced the GHG emissions from plant production exiting the farms (11–23 %) and pig meat production (13–20 %). But there was no significant effects in milk and beef production.</p> <p>All effects of the co-operation models to the GHG emissions of animal production were based on the changes in feeding and in GHG emissions of feed production. Joint effect of these two were the reason that no changes in GHG emissions of milk and beef production were observed. There was also some uncertainties in calculation method and the method was sensitive to yield changes so there are some uncertainties in calculated GHG emissions. Despite of these uncertainties, results of this study correlate well with previous studies and results were encouraging. It is recommended to study more about the effects of co-operation and reduced synthetic nitrogen fertilizer use to agricultural GHG emission.</p> <p>This study was part of Sustainable Intensification –project, ”Kasvinviljely- ja kotieläintilojen yhteistyö – avain tuotannon kestävään tehostamiseen” (KESTE).</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Climate Change, greenhouse gas emission, co-operation, nitrogen fertilizer, plant production, animal production, agriculture.			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agricultural Sciences and Viikki Campus Library			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information Supervisor: Mervi Seppänen			

SISÄLLYS

LYHENTEET JA SYMBOLIT.....	5
1 JOHDANTO.....	6
2 MAATALOUS OSANA ILMASTONMUUTOSTA	7
2.1 Ilmastomuutos.....	7
2.2 Ilmastomuutoksen vaikutukset maatalouteen.....	8
2.3 Maatalous kasvihuonekaasupäästöjen lähteenä.....	9
2.4 Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen maataloudessa	11
3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET.....	14
4 AINEISTO JA MENETELMÄT.....	15
4.1 Aineiston keruu	15
4.2 Laskentamenetelmät.....	15
4.2.1 Maatilojen käsittely laskennassa sekä yhteistyömallit.....	16
4.2.2 Muunnoskertoimet	17
4.2.3 Systeemin rajausta	17
4.2.4 Suoran energian KHK-päästöt	18
4.2.5 Epäsuoran energian KHK-päästöt	19
4.2.6 Maaperän KHK-päästöt	21
4.2.7 Ruoansulatus ja lannankäsittely	26
4.2.8 Rehut ja kuivike	27
4.2.9 Siementuotanto.....	32
4.2.10 KHK-päästöjen laskenta ja allokointi.....	33
4.3 Herkkyystarkastelu	34
5 TULOKSET.....	34
5.1 Alkutilanteen KHK-päästöt	35
5.1.1 Kasvintuotanto	35
5.1.2 Eläintuotanto.....	37
5.2 Yhteistyömallien KHK-päästöt	38
5.2.1 Kasvintuotanto	38
5.2.2 Eläintuotanto.....	41
6 TULOSTEN TARKASTELU	42
6.1 Alkutilanteen KHK-päästöt	42
6.1.1 Kasvintuotanto	42
6.1.2 Eläintuotanto.....	43
6.2 Yhteistyömallien vaikutukset tilojen KHK-päästöihin.....	45
6.2.1 Kasvintuotanto	45
6.2.2 Eläintuotanto.....	48
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	50
8 KIITOKSET	51
LÄHTEET	52
LIITE 1. FARMCALC 2.1 ESITTELY.....	60

LYHENTEET JA SYMBOLIT

CaCO_3	Kalsiumkarbonaatti
$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Dolomiitti
CH_4	Metaani
CO_2	Hiilidioksi
$\text{CO}_2\text{-ekv}$	Hiilidioksidiekvivalentti – eri kasvihuonekaasujen kasvihuonevaikutuksen yhteismitallistamisen yksikkö
EF	Päästökerroin (<i>Emission factor</i>)
GWP_{100}	Kasvihuonekaasujen lämmitysvaikutus 100 vuoden tarkastelujaksolle (<i>Global Warming Potential</i>)
HCO_3^-	Vetykarbonaatti
IPCC	Kansainvälinen hallitusten välinen ilmastonmuutospaneeli (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
KESTE	“Kasvinviljely- ja kotieläintilojen yhteistyö – avain tuotannon kestävään tehostamiseen” – hanke
KHK	Kasvihuonekaasu
N	Typpi
NH_3	Ammoniakki
$\text{NH}_3\text{-N}$	Ammoniakin typpi
NH_4^+	Ammoniumioni
N_2O	Dityppioksidi (typpioksiduuli)
$\text{N}_2\text{O-N}$	Dityppioksidin typpi
NO_3^-	Nitraatti-ioni
NO_x	Typen oksidit
$\text{NO}_x\text{-N}$	Typen oksidien typpi
NSr.	Nurmisäilörehu
OVR	Ohravalkuaisrehu

1 JOHDANTO

Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on kasvanut merkittävästi esiteollisesta ajasta nykypäivään. Hiilidioksidipitoisuus jatkaa edelleen kasvuaan ja kasvihuonekaasupäästöt lisääntyvät 1,6 % vuosittain (Rogner ym. 2007). Maatalous on merkittävä kasvihuonekaasujen päästölähde ja sen osuus ihmisen aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä on Suomessa noin 20 % sekä globaalisti 10–12 % (Smith ym. 2007, Regina ym. 2014). Merkittävimmät maatalouden kasvihuonekaasut ovat metaani, dityppioksidi ja hiilidioksidi (Smith ym. 2008), joihin tässäkin työssä keskitytään.

Euroopan unioni on asettanut tavoitteen, jonka mukaan Suomen on vähennettävä maatalouden KHK-päästöjä 13 % vuoteen 2020 mennessä (TEM 2008). Maatalouden on siis osaltaan pystyttävä leikkaamaan KHK-päästöjään. Tästä johtuen onkin tärkeää tutkia, miten maatalous onnistuu täyttämään oman osansa tavoitteista.

Maatalouden KHK-päästöjen yksiselitteinen selvittäminen ei ole kuitenkaan yksinkertainen tehtävä. Maataloudessa päästölähteitä on hyvin monenlaisia, ja kokonaispäästöjen muodostuminen on hyvin monimutkainen verkosto. Tässä työssä pyrittiin selvittämään todellisten maatilojen merkittävimmät KHK-päästölähteet sekä arvioimaan tilojen tuotannon KHK-päästöjä. Lisäksi haluttiin selvittää mahdollisuuksia vähentää tilojen KHK-päästöjä tilayhteistyön ja typpilannoituksen muutosten avulla.

Tämä tutkimus oli osa ”Kasvinviljely- ja kotieläintilojen yhteistyö – avain tuotannon kestäväan tehostamiseen” – hanketta (KESTE). Hanke koostui useista työpaketeista, joista tämä työ kuului ensimmäisen työpaketin osaan 1 ”Maatilojen energiankäyttö, kasvihuonekaasupäästöt ja pääravinteiden virrat, sekä palkokasvien energia- ja lannoituskäyttö”. Työpaketin loppuraportti on julkaistu Maataloustieteiden laitoksen julkaisusarjassa 2016:43.

2 MAATALOUS OSANA ILMASTONMUUTOSTA

2.1 Ilmastonmuutos

Ilmakehän KHK-pitoisuudet ovat lisääntyneet merkittävästi viimeisten vuosisatojen kuluessa. Erityisesti fossiilisten polttoaineiden käyttö ja biomassan poltto ovat lisänneet kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä (Baede ym. 2001). Ilmakehän hiilidioksidipitoisuus on nykyisin 40 % suurempi kuin mitä se oli esiteollisena aikana (Statistics Finland 2014). Typpioksiduulipitoisuus on kasvanut esiteollisesta ajasta 20 % ja metaanipitoisuus jopa 150 %. Hiilidioksidin ja typpioksiduulin päästöt kasvavat edelleen, mutta metaanin päästöjen kasvu tasaantui 2000-luvun alussa. Kuitenkin vuoden 2007 jälkeen metaanin päästöt kääntyivät taas nousuun arktisen alueen kärsiessä poikkeuksellisen lämpimistä säistä, sekä tropiikin poikkeuksellisen runsaiden sateiden takia (Hartmann ym. 2013).

Ilmakehän kasvihuonekaasukonsentraatioiden kasvaessa myös maapallon lämpötila on noussut. Lämpötilan nousu johtuu ihmisen aiheuttamasta kasvihuonekaasujen määrän lisääntymisestä ilmakehässä (Cubasch ym. 2013). Ilmakehän kasvanut kasvihuonekaasujen konsentraatio voimistaa ilmakehän lämmittävää kasvihuonevaikutusta lisäämällä ilmakehän kykyä absorboida ja emittoida lämpösäteilyä (Baede ym. 2001).

Ilmaston ennustetaan muuttuvan merkittävästi tulevaisuudessa ilmastossa jo havaittujen muutosten lisäksi. Tulevaa ilmastoa ennustetaan yleisesti kolmen erilaisen skenaarion muodostamien mallien avulla (Jylhä ym. 2009). Skenaariossa A2 KHK-päästöjä ei pysyttyä juuri rajoittamaan ja fossiilisten polttoaineiden käyttö on edelleen tärkeässä osassa. Skenaariossa B1 kasvihuonekaasujen päästöjä rajoitetaan huomattavasti ja ongelmiin puututaan maailmanlaajuisesti. A1B-skenaario edustaa puolestaan näiden kahden ääripään välimuotoa, ja on todennäköisesti lähimpänä todellisuutta (IPCC 2000b, Jylhä ym. 2009). Kaikkien skenaarioiden mukaan ilmasto tulee muuttumaan, mutta muutosten voimakkuus eri skenaarioiden välillä vaihtelee (IPCC 2000b). Ilmastonmuutoksen myötä lämpötilan ennustetaan nousevan ja hellejaksojen sekä rankkasateiden lisääntyvän maailmanlaajuisesti. Rankkasateista huolimatta kuivuudenkin ennustetaan lisääntyvän. Lisäksi meriveden pinnan ennustetaan nousevan ja sään ääri-ilmiöiden lisääntyvän (Cubasch ym. 2013).

Pohjoisilla leveysasteilla lämpötilan on ennustettu nousevan jopa enemmän kuin muualla (IPCC 2007). Suomessa ilmastonmuutoksen myötä keskilämpötilan ennustetaan nousevan 2,3-6 astetta vuoteen 2100 mennessä (MMM 2014). Lämpötilan nousu ajoittuu erityisesti talviajalle, jolloin lumipeitteinen aika vähenee ja talven lumipyryt muuttuvat enemmän vesisateiksi (Jylhä ym. 2009). Sademäärän ennustetaan kasvavan 8-20 % (MMM 2014) ja sateiden epäsäännöllisyyden ennustetaan lisääntyvän. Talvella sadepäivien odotetaan yleistyvän ja sateiden voimistuvan. Kesällä rankkasateiden ennustetaan voimistuvan mutta poutakausien pitenevän, joten kesän kokonaissademäärät eivät välttämättä tule muuttumaan (Jylhä ym. 2009). Lisäksi ilmaston lämmetessä kasvukauden ennustetaan pitenevän sekä tehoisan lämpösummakertymän kasvavan (Peltonen-Sainio ym. 2009).

Eri skenaarioiden tuottamien tulosten perusteella ilmastonmuutos tulee olemaan voimakkainta, jos KHK-päästöjä ei saada rajoitettua (Jylhä ym. 2009). KHK-päästöjen vähentäminen onkin oleellista ilmastonmuutoksen hillitsemisen kannalta.

2.2 Ilmastonmuutoksen vaikutukset maatalouteen

Ilmastonmuutoksella ennustetaan olevan merkittäviä vaikutuksia maatalouteen, mutta vaikutusten suuruus vaihtelee eri skenaarioiden ja ennustemallien välillä (Parry ym. 2004). Ilmastonmuutoksen hillitseminen voi vähentää sen vaikutuksia maatalouteen, mutta ilmastossa tapahtuvien muutosten toteutuessa vaikutukset maailman maataloustuotantoon voivat olla merkittäviä (Porter ym. 2014). Suurimmat vaikutukset maataloudelle aiheutuvat lämpötilan, sateiden ja ääri-ilmiöiden muutosten sekä kohonneen hiilidioksidipitoisuuden johdosta (Parry ym. 2004, Porter ym. 2014).

Ilmastonmuutoksen ennustetaan vaikuttavat negatiivisesti maailmanlaajuiseen viljelykasvien kokonaissatoon. Ennusteissa sadot laskevat kehitysmaissa, mutta nousevat kehittyneissä maissa (Parry ym. 2004, Porter ym. 2014). Satojen lasku tapahtuu erityisesti alueilla, joilla on jo muutenkin pulaa ruoasta, ja näillä alueilla nälänhädän riski kasvaa ilmastonmuutoksen myötä. Lisäksi lämpötilojen nousu voi vähentää eläintuotannon tuottavuutta (Porter ym. 2014).

Satotasojen uskotaan puolestaan nousevan erityisesti pohjoisilla leveysasteilla (Rosenzweig ym. 2001). Suomessa kaikkien tärkeimpien peltokasvien satojen ennustetaan nousevan huomattavasti ilmastonmuutoksen myötä. Toisaalta nykyään marginaalisten viljelykasvien viljely voi lisääntyä, ja uusien viljelykasvien ottaminen viljelyyn mahdollistuu pidentyvän kasvukauden ja erityisesti kasvavan lämpösummakertymän johdosta. Talvien leudontumisen ennustetaan vähentävän syyskylvöisten kasvien viljelyriskejä, ja niiden viljelyn lisääminen voi olla mahdollista (Peltonen-Sainio ym. 2009).

Positiivisista ennusteista huolimatta lisääntyvät ääri-ilmiöt sekä tuholaiset ja taudit lisäävät satoriskiä tulevaisuudessa (Peltonen-Sainio ym. 2009). Ilmastonmuutoksen myötä kasvukauden ja talvien lämpeneminen sekä kasvilajiston muutokset lisäävät riskiä kasvitautien ja tuholaiden runsaammille esiintymisille (Hakala ym. 2011). Veden riittävyys kasvukauden aikana voi muodostua ongelmaksi, ja muuttuvan ilmaston myötä kasvavan satopotentiaalin hyödyntämiseksi saattaa olla tarpeellista kehittää kastelujärjestelmiä (Peltonen-Sainio ym. 2009).

Vaikka ennusteet näyttävätkin Suomen maatalouden voivan osittain hyötyä ilmastonmuutoksesta, yli 4 asteen lämpötilan nousu kasvattaisi huomattavasti riskiä merkittäviin satotappioihin ja ilmastonmuutoksen vaikutukset Suomen maatalouteen kääntyisivät negatiivisiksi (Rötter ym. 2011). Ilmastonmuutoksen hillitseminen ja KHK-päästöjen vähentäminen onkin hyvin tärkeää tulevaisuuden ruokaturvan kannalta niin Suomessa kuin globaalisti.

2.3 Maatalous kasvihuonekaasupäästöjen lähteenä

Ilmastonmuutos tulee vaikuttamaan ennusteiden mukaan merkittävästi maatalouteen, mutta maatalouden ja ilmastonmuutoksen suhde ei ole vain yksisuuntainen. Maatalous on yksi merkittävimmistä ilmastonmuutosta kiihdyttävien kasvihuonekaasujen päästölähteistä (Smith ym. 2007).

Smith ym. (2007) mukaan maatalousmaa peittää maailmanlaajuisesti 40–50 % maapallon maapinta-alasta, ja tältä alalta vapautuvat KHK-päästöt ovat merkittävässä osassa maatalouden KHK-päästöjä tarkasteltaessa. Vuonna 2005 maatalous tuotti maailmanla-

juisesti 10–12 % ihmisen aiheuttamista KHK-päästöistä laskematta mukaan maatalouden energiankulutuksen KHK-päästöjä. Metaanin päästöistä maatalous aiheutti jopa 50 % ja typpioksiduulin päästöistä 60 %. Maailmanlaajuisesti CH₄- ja N₂O-päästöt ovat kasvaneet lähes 17 % vuodesta 1990 vuoteen 2005. Maatalous onkin hyvin merkittävä tekijä KHK-päästölähteiden joukossa.

Suomessa maatalouden KHK-päästöt olivat 9 % kaikista KHK-päästöistä vuonna 2012, kun otetaan huomioon vain maatalouden metaani ja typpioksiduulipäästöt (Statistics Finland 2014). Jos huomioidaan myös maatalouden energiankäytöstä, maaperästä ja kalkituksesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt, maatalouden KHK-päästöt olivat tällöin noin 20 % Suomen kokonaispäästöistä (Regina ym. 2014). Maatalous onkin toiseksi merkittävin KHK-päästölähde Suomessa (Statistics Finland 2014).

Maatalouden suorista päästöistä 61 % tulee maaperästä, 27 % eläinten ruoansulatuksesta ja 12 % lannankäsittelystä, kun ei huomioida maatalouden energiankulutusta, epäsuoria KHK-päästöjä eikä kalkitusta. Maaperän KHK-päästöt ovat pääasiassa typpioksiduulipäästöjä, ja maatalousmaa on maatalouden merkittävin N₂O-päästölähde (Statistics Finland 2014). Typpioksiduulipäästöt syntyvät mikrobitoiminnan seurauksena maaperän ja lannan vapaasta typestä nitrifikaation ja denitrifikaation välityksellä (Smith ym. 2007). Vapaan typen lisääntyessä maaperässä myös typpioksiduulipäästöt lisääntyvät, joten typpilannoitteiden ja lannan käyttö sekä kasvitähteestä maaperään päätyvä typpi lisäävät maaperän typpioksiduulipäästöjä (IPCC 2006).

IPCC:n (2006) mukaan maatalouden aiheuttamia typpioksiduulipäästöjä syntyy myös epäsuorasti kahta reittiä. Lannan ja typpilannoitteiden typpi maaperässä, fossiiliset polttoaineet sekä kasvitähteiden poltto aiheuttavat ammoniakki- sekä typenoksidipäästöjä, jotka päätyvät ilmakehään ammoniumioneina (NH₄⁺) sekä nitraatti-ioneina (NO₃⁻). Näiden ionien päätyessä takaisin maaperään ja vesistöihin nitrifikaatio ja denitrifikaatio muuttavat ne typpioksiduulipäästöiksi. Toinen maatalouden epäsuorien N₂O-päästöjen lähde on viljelysmaalta huuhtoutuneen typen muuttuminen vesistöissä nitrifikaation ja denitrifikaation välityksellä typpioksiduulipäästöiksi.

Maatalouden metaanipäästöjä syntyy pääasiassa eläinten ruoansulatuksen yhteydessä sekä lannan varastoinnissa, kun orgaaniset materiaalit hajoavat vähähappisissa olosuh-

teissa (Smith ym. 2007). Karjan ruoansulatuksen aiheuttamat metaanipäästöt ovat lannankäsittelyn päästöjä merkittävämpiä (IPCC 2006), vaikka lietelantajärjestelmiin siirtyminen onkin lisännyt lannankäsittelyn metaanipäästöjä (Statistics Finland 2014).

Maatalouden hiilidioksidikaasupäästöt syntyvät pääasiallisesti fossiilisen energian käytöstä, kalkituksesta ja eloperäisten maiden viljelystä (Regina ym. 2014). Fossiilista energiaa maataloudessa käytetään viljelytoimissa, sadon kuivauksessa ja rakennusten lämmityksessä. Kalkituksen hiilidioksidikaasupäästöt syntyvät maaperässä kalkkikiven (CaCO_3) ja dolomiittikalkin ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) liuotessa, sekä niistä vapautuvan vetykarbonaatin (HCO_3^-) muuttuessa hiilidioksidiksi ja vedeksi (IPCC 2006). Eloperäisistä maista hiilidioksidipäästöjä syntyy, kun mikrobitoiminta hajottaa kuivatettujen orgaanisten maiden maaperään pitkällä aikavälillä kertynyttä hiiltä (Regina ym. 2014).

Maatalous aiheuttaa myös epäsuoria KHK-päästöjä, jotka syntyvät tilojen ulkopuolella. Maatalouden panosteollisuus on merkittävä epäsuorien KHK-päästöjen lähde maataloussektorilla. Maatalouden tuotantopanosten, kuten lannoitteiden, kasvinsuojeluaineiden ja kalkin valmistus sekä kuljetus aiheuttavat maataloudessa epäsuoria KHK-päästöjä (Mäkinen ym. 2006, Sinkko ym. 2010). Panosteollisuuden KHK-päästöt ovat pääasiassa energiankäytön hiilidioksidikaasupäästöjä (Snyder ym. 2009), mutta esimerkiksi typpihappotehtailla syntyy merkittäviä määriä typpioksiduulipäästöjä typpilannoitteiden valmistuksessa (Sinkko ym. 2010, Yara 2014).

Maatalouden KHK-päästölähteitä on siis hyvin monenlaisia, mutta yksi KHK-päästölähde on selvästi suurin. Maaperän typpioksiduulipäästöt aiheuttavat 61 % maatalouden suorista päästöistä (Statistics Finland 2014). Maaperän typpioksiduulipäästöjen vähentämisessä onkin suurta potentiaalia, ja N_2O -päästöjen vähentäminen voi olla tehokas keino maatalouden KHK-päästöjen hillitsemiseksi (Regina ym. 2014, Smith ym. 2007).

2.4 Kasvihuonekaasupäästöjen vähentäminen maataloudessa

Tilastokeskuksen (Statistics Finland 2014) mukaan maatalouden KHK-päästöt Suomessa ovat vähentyneet 13 % tarkastelujaksolla vuosina 1990–2012. Pääasiassa päästövähennykset ovat johtuneet eläinmäärän vähenemisestä ja tilakoon kasvusta. Vaikka

eläinten ruoansulatuksen metaanipäästöt ja lannankäsittelyn typpioksiduulipäästöt ovat vähentyneet eläinmäärän laskiessa, lannankäsittelyn metaanipäästöt ovat lisääntyneet siirryttäessä kasvavassa määrin lietelantajärjestelmiin. Lietelantajärjestelmän metaanipäästöt ovatkin kymmenkertaiset kuivalantajärjestelmään verrattuna. Maaperän typpioksiduulipäästöt ovat pudonneet puolestaan 13 % vuoden 1990 tasosta vähentyneen typpilannoituksen ansiosta.

Kokonaisuudessaan typpioksiduulipäästöt ovat vähentyneet Suomessa 30 % vuosina 1990–2012 (Statistics Finland 2014). Suurin tekijä N_2O -päästöjen vähenemiseen on ollut typpilannoitteita valmistavilla typpihappotehtailla vuonna 2009 käyttöönotettu katalyyttinen typenpoistolaitteisto, joka vähensi typpihappotehtaiden KHK-päästöjä 92 % (Sinkko ym. 2010, Statistics Finland 2014). Osaltaan myös typpilannoitteiden käytön vähentyminen on vaikuttanut N_2O -päästöjen laskuun (Statistics Finland 2014).

Vaikka maatalouden KHK-päästöt ovat viimeisinä vuosikymmeninä erilaisten muutosten ja toimenpiteiden seurauksena vähentyneet, on KHK-päästöjä edelleen leikattava. EU:n taakanjakopäätöksen mukainen maatalouden päästövähennystavoite on 13 % vuoden 2005 tasosta vuoteen 2020 mennessä (TEM 2008). Lähivuosina maatalous joutuu-kin vastaamaan omalta osaltaan kasvaviin päästövähennystavoitteisiin ilmastonmuutoksen hillitsemisessä. On otettava huomioon, että maailman väkiluvun kasvaessa ja ruokavalion muuttuessa ruoan suurempi tarve voi kasvattaa mm. CH_4 - ja N_2O -päästöjä karjan kasvatuksen ja typpilannoitteiden käytön lisääntyessä (Smith ym. 2007). Uusien kasvi-huonekaasuvähennysmenetelmien käyttöönotto onkin tärkeää, jotta KHK-päästöjen kasvu voidaan estää tulevaisuudessa.

KHK-päästöjä voidaan vähentää maataloudessa monella tapaa. Merkittävimmät keinot liittyvät parannettuun viljelys- ja laidunmaan hoitoon, kuten viljelytekniikan kehittämiseen, lannoitteiden käyttöön ja maatalouden tähteiden käsittelyyn (Smith ym. 2007). KHK-päästöjen vähentäminen tuotantoa vähentämällä ei ole kuitenkaan tavoiteltavaa (Regina ym. 2014).

Maatalouseläimet ovat yksi merkittävimmistä KHK-päästölähteistä Suomen maataloussektorilla. Kotieläinten KHK-päästöt ovat noin 40 % maatalouden KHK-päästöistä (Regina ym. 2014), mutta niiden KHK-päästöjä on mahdollista vähentää. Lannankäsittelyn metaanipäästöjä voidaan vähentää parantamalla lannankäsittelymenetelmiä (Smith ym.

2007). Esimerkiksi biokaasutuksen avulla voidaan mahdollisesti vähentää lannankäsittelyn metaanipäästöjä jopa yli 50 % (Amon ym. 2006, Clemens ym. 2006). Nautojen ruoansulatuksen metaanipäästöjä on myös mahdollista vähentää ruokintaa muokkaamalla (Meale ym. 2012), sekä lisäravinteilla (Smith ym. 2007). Toisaalta nautojen elinien pidentäminen voisi vähentää eläintuotannon kokonaispäästöjä pitkällä aikavälillä (Regina ym. 2014).

Maatalouden typpioksiduulipäästöjäkin on mahdollista vähentää monella tapaa. Vapaan epäorgaanisen typen määrä maaperässä on yksi tärkeimmistä typpioksiduulipäästöjä säätelevistä tekijöistä (IPCC 2006), joten vapaan typen määrän rajoittaminen vähentää myös N_2O -päästöjä (Regina ym. 2014). Maaperän vapaata typpeä voidaan rajoittaa parantamalla kasvien typenkäytön tehokkuutta, sekä lannoittamalla vain kasvien ravinnetarpeen verran ja vain silloin, kun kasvi tarvitsee typpeä (Smith ym. 2007). Lannoituksen jakaminen useampaan levityskertaan (Regina ym. 2014), sekä täsmä- ja sijoituslannoitus voivat myös lisätä typenkäytön tehokkuutta maaperässä (Smith ym. 2007). Puolet typpioksiduulipäästöistä syntyy kasvukauden ulkopuolella, joten peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys (Regina ym. 2014) sekä kerääjäkasvien käyttö voivat vähentää typpioksiduulipäästöjä (Smith ym. 2007). Lisäksi voidaan käyttää erilaisia pelloille levitettäviä nitrifikaatioinhibiittoreita, jotka hidastavat maaperän N_2O -päästöjä aiheuttavia mikrobiologisia prosesseja (Regina ym. 2014, Smith ym. 2007). Tärkeintä maaperän N_2O -päästöjen vähentämisessä onkin vapaan typen määrän rajoittaminen maaperässä.

Typpilannoitteiden käyttöä voidaan vähentää typensitojakasvien avulla, mutta myös typensitojakasvien sitoma typpi voi aiheuttaa maaperässä typpioksiduulipäästöjä (Smith ym. 2007). Vaikka typensitojakasvien käyttö ei välttämättä vähennä maaperän typpioksiduulipäästöjä, on kuitenkin mahdollista vähentää maatalouden KHK-päästöjä korvaamalla väkilannoitteiden typpeä typensitojakasvien sitomalla typellä ja muilla vaihtoehtoisilla typpilannoitusmuodoilla. Väkilannoitteiden valmistuksen aiheuttamat KHK-päästöt ovat noin 50 % kaikista väkilannoitteiden käytöstä aiheutuvista KHK-päästöistä (Mäkinen ym. 2006), joten typen valmistuksen KHK-päästöjen eliminoiminen käyttämällä muita typpilähteitä voi vähentää maatalouden KHK-päästöjä. Väkilannoitteiden valmistusmenetelmä vaikuttaa myös merkittävästi lannoitteiden KHK-päästöihin, sillä parhaalla saatavilla olevalla teknologialla valmistettujen typpilannoitteiden KHK-päästöt voivat olla jopa yli 50 % pienemmät tavanomaisiin tuotantomenetelmiin verrattuna (Yara 2014).

Maatalouden KHK-päästöihin ja erityisesti maaperän N_2O -päästöihin on siis mahdollista vaikuttaa. Suomessa maatalouden KHK-päästöistä suurin vähennyspotentiaali onkin todettu olevan juuri maaperän typpioksiduulipäästöillä (Regina ym. 2014). Tässä tutkimuksessa haluttiinkin selvittää, miten teollisten typpilannoitteiden käytön vähentäminen, typensitojakasvien viljelyn lisääminen ja typen kierrätyksen parantaminen vaikuttavat maatilojen KHK-päästöihin. Tutkimuksen oletuksena oli, että ehdotetut menetelmät vähentävän viljelyn KHK-päästöjä tutkimukseen osallistuneilla tiloilla.

3 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tutkimukseen osallistuneiden maatilojen nykyhetken kasvihuonekaasupäästöt kasvin- ja eläintuotannossa sekä niiden jakautuminen eri KHK-päästölähteiden kesken. Lisäksi tavoitteena oli analysoida kahden erilaisen tilayhteistyömallin vaikutuksia tilojen kasvihuonekaasupäästöihin teollisten typpilannoitteiden käyttöä vähentämällä, typensitojakasvien viljelyä lisäämällä ja typen kierrätystä parantamalla. Tarkoituksena oli selvittää esimerkkitalojen kasvihuonekaasupäästöt tuotettua tuotekiloa kohden ennen typenkäytön muutoksia ja sen jälkeen. Lisäksi haluttiin selvittää typpilannoitteiden valmistuksen KHK-päästöjen vaihtelun vaikutus tilojen kasvihuonekaasupäästöihin. Tavoitteena oli myös kehittää maatalan kasvihuonekaasupäästöjen laskentaan sopiva laskentatyökalu KESTE-hankkeen myöhempiä vaiheita varten. Teollisten typpilannoitteiden käytön vähentämisen, typensitojakasvien viljelyn lisäämisen ja typen kierrätyksen parantamisen odotettiin vähentävän viljelyn kasvihuonekaasupäästöjä esimerkkitaloilla.

4 AINEISTO JA MENETELMÄT

4.1 Aineiston keruu

KESTE-hankkeeseen etsittiin maatiloja Maaseudun Tulevaisuuden ja Farmit-internetsivujen kautta keväällä 2013. Tutkimukseen mukaan ilmoittautuneilla tiloilla vierailtiin ja tiloista tehtiin vierailukäynnillä tilakuvaus, joka kuvasi tilojen toimintaperiaatetta ja -ympäristöä. Lisäksi tiloilta kerättiin tietoja lohko- ja kuivauskirjanpidosta, karjantaselomakkeista, energiasuunnitelmista ja -kulutustiedoista sekä tiloille lähetetyistä polttoainelomakkeista.

Päästölaskelmiin saatiin dataa yhteensä yhdeksältä tilalta, joista neljä oli kasvinviljelytiloja ja loput eläintiloja. Eläintiloista kaksi oli sikatilaa, kaksi maitotilaa sekä yksi liha-karjatila. Laskelmien tilatiedot ovat peräisin vuodelta 2013. Ennen päästölaskelmia oli KESTE-hankkeen parissa samasta tila-aineistosta jo suoritettu energialaskelmia, ja päästölaskelmat pohjautuvat näihin aikaisemmin suoritettuihin energialaskelmiin. Datan keruuta ja käsittelyä ei siis suoritettu tämän tutkimuksen yhteydessä, vaan laskelmissa käytettiin KESTE-hanketta varten kerättyä ja valmiiksi käsiteltyä dataa. Tarkempi kuvaus aineiston keruusta ja käsittelystä on luettavissa hankkeen loppuraportista Maataloustieteiden julkaisusarjassa 2016:43.

4.2 Laskentamenetelmät

Tutkimusta varten kehitettiin Excel-pohjainen kasvihuonekaasupäästölaskuri (Farm-CALC 2.1.) (Liite 1) helpottamaan yksittäisten maatilojen ja yhteistyömallien KHK-päästöjen laskentaa. Kaikki tämän tutkimuksen kasvihuonekaasupäästötulokset laskettiin kyseistä laskuria apuna käyttäen. Laskuri tehtiin automaattiseksi, joten tulokset tilan KHK-päästöistä saatiin syöttämällä lähtötiedot laskuriin ja lukemalla tulokset tulostaulukoista. Jäljempänä on selitetty laskurin käyttämät parametrit ja laskentatekniikka.

4.2.1 Maatilojen käsittely laskennassa sekä yhteistyömallit

Tutkimuksessa laskettiin tutkittaville tiloille KHK-päästöt nykytilanteessa ja kahdella erilaisella skenaariolla. Tiloista muodostettiin ensin tilapareja, joita käsiteltiin laskentayksikkönä. Jokaiselle tilaparille laskettiin KHK-päästöt nykytilanteessa (myöhemmin alkutilanne) sekä yhteistyötilanteessa (myöhemmin perusmalli ja typpimalli). Perusmallissa nautatiloilla siirryttiin apilanurmiin ja viljelyyn otettiin härkäpapusäilörehua. Sika-tiloilla synteettisten typpilannoitteiden käyttöä vähennettiin ottamalla viljelyyn hennettä ja härkäpapua sekä käyttämällä viljoilla aluskasvia. Kasvituloilla typpilannoitteita korvattiin aluskasvilla. Lisäksi tilojen yhteistyötä ja lannansiirtelyä lisättiin tilojen välillä. Perus- ja typpimalli eivät eronneet toisistaan muuten, mutta perusmallissa laskelmissa käytettiin korkeampaa typen valmistuksen KHK-päästöä ja typpimallissa matalampaa. Tulosten vertailtavuuden vuoksi tilaparia tarkasteltiin alkutilanteessa yhtenä yksikkönä, mutta tilaparin ajateltiin kuitenkin vielä silloin toimivan kahtena itsenäisenä tilana.

Tilaparit muodostettiin siten, että toinen tila oli kasvinviljelytila ja toinen karjatilat (taulukko 1). Poikkeuksena tilapari 2, joka muodostettiin vain yhdestä tilasta. Kyseisellä tilalla oli laajamittaista sianlihan- sekä kasvintuotantoa, joten sitä käsiteltiin laskelmissa kuten kahta tilaa.

Taulukko 1. Tutkimuksessa muodostetut tilaparit.

Tilapari	Tila	Tuotantosuunta	Tuotantotapa	Pinta-ala (ha)	Eläinmäärä
1	1	Lihanauta	Luomu ¹⁾	116	538
	2	Kasvinviljely	Luomu	41	
2	3	Lihaseika ja kasvinviljely	Tavanomainen	205	600
3	4	Lihaseika	Tavanomainen	185	1000
	5	Kasvinviljely	Tavanomainen	195	
4	6	Maidontuotanto	Luomu	262	150 + nuorkarja
	7	Kasvinviljely	Tavanomainen	88	
5	8	Maidontuotanto	Tavanomainen	24	19 + nuorkarja
	9	Kasvinviljely	Tavanomainen	46	

1) Pellot luomutuotannossa ja eläimet tavanomaisessa tuotannossa

4.2.2 Muunnoskertoimet

Kasvihuonekaasupäästölaskelmissa huomioitiin hiilidioksidin (CO_2) lisäksi metaani (CH_4) ja typpioksiduuli (N_2O). Kasvihuonekaasujen kasvihuonevaikutus yhteismitallistettiin hiilidioksidiekvivalenteiksi (CO_2 -ekv.) käyttäen taulukossa 2 esitettyjä kasvihuonekaasujen suhteellisia lämmitysvaikutuksia 100 vuoden tarkastelujaksolle (GWP_{100}). IPCC:n (1996) toisen arviointiraportin mukaisia karakterisointikertoimia käytettiin tulosten vertailtavuuden helpottamiseksi.

Taulukko 2. Kasvihuonekaasujen yhteismitallistamisessa käytetyt karakterisointikertoimet (GWP_{100}) (IPCC 1996).

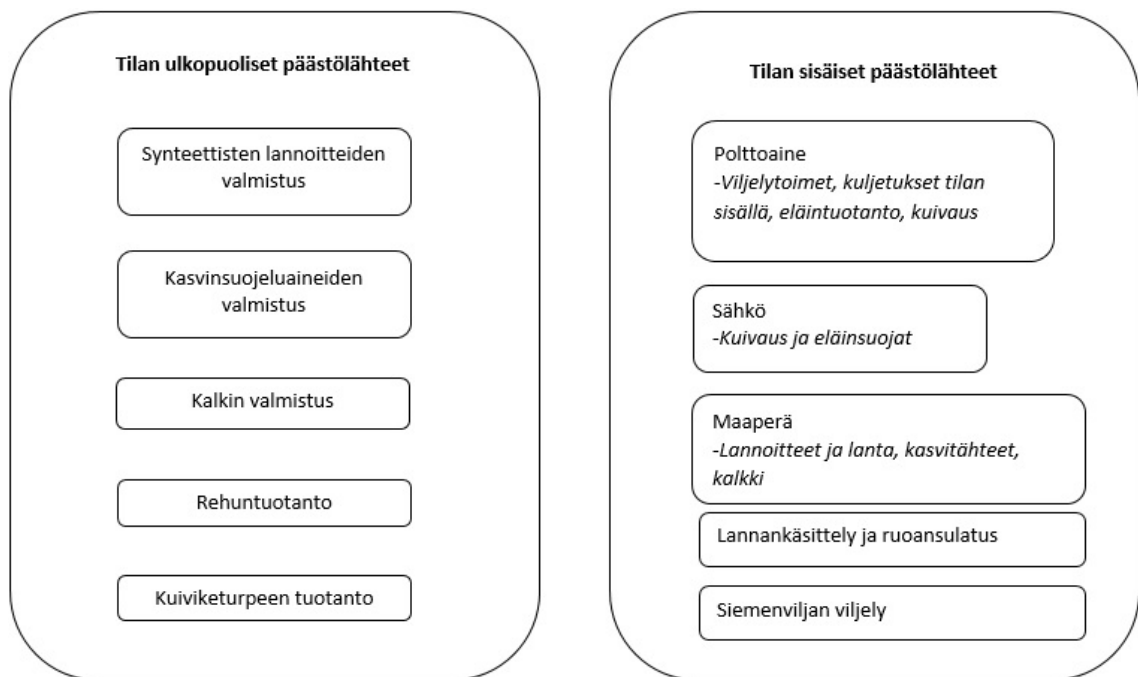
Kasvihuonekaasu	GWP_{100}
Hiilidioksidi CO_2	1
Metaani CH_4	21
Typpioksiduuli N_2O	310

4.2.3 Systeemin raja

Maatalous on monimutkainen systeemi kasvihuonekaasupäästölaskelmien kannalta. Maataloudesta suoraan tai välillisesti syntyviä KHK-päästöjä tulee hyvin erilaisista päästölähteistä ja kaikkeen maatalouden toimintaan voidaan ajatella liittyvän jonkinlaisia aktiivisia tai passiivisia KHK-päästölähteitä. KHK-päästöjen muodostumispaikka luo myös omat haasteensa laskuille. Maatilalla itsessään on merkittäviä KHK-päästölähteitä, mutta toisaalta kaikki maatalouden merkittävimmät päästölähteet eivät sijaitse maatilalla. Maatilan kasvihuonekaasupäästölaskuissa systeemin tarkka raja onkin tarpeen.

Tutkimuksessa raja suoritettiin siten, että laskennan kannalta merkittävimmät KHK-päästölähteet rajattiin systeemiin sisään ja laskentaparametrit selvitettiin mahdollisimman tarkasti. Lopputuloksen kannalta epäolennaisimmista KHK-päästölähteistä käytettiin epätarkempia arvoja tai ne jätettiin kokonaan pois. Tutkimuksen tavoitteena oli havaita eroja eri yhteistyömallien välillä, joten kaikissa malleissa muuttumattomina esiintyviä KHK-päästölähteitä voitiin jättää kokonaan pois.

Systeemin rajat määriteltiin siten, että kaikki tilojen aktiivisen toiminnan kannalta oleelliset KHK-päästölähteet tulivat laskelmissa huomioiduiksi (kuva 1). Laskelmissa ei kuitenkaan huomioitu esimerkiksi infrastruktuurin (tiet, ojitukset, sähköverkot), koneiden ja laitteiden sekä rakennusten valmistuksesta aiheutuneita KHK-päästöjä. Myös tuotteiden ja eläinten kuljetus tiloille ja tiloilta pois jätettiin tarkastelun ulkopuolelle. Kuljetusten huomioimatta jättämiseen päädyttiin, koska etenkin simuloiduissa yhteistyötilanteissa tilojen sijainti toisiinsa ja kauppapaikkoihin nähden oli teoreettinen.



Kuva 1. Laskelmissa huomioidut KHK-päästölähteet.

4.2.4 Suoran energian KHK-päästöt

Tiloilla käytetystä suorasta energiasta laskuissa olivat mukana polttoöljyn ja sähkön kulutus. Tiloilla käytettiin myös uusiutuvia energianmuotoja kuten biodieseliä, haketta, biokaasua ja tuulivoimaa. Uusiutuvat energiamuodot ajateltiin päästöneutraaleiksi eikä niitä otettu mukaan laskelmiin. Polttoöljyä tiloilla kului traktoreissa viljelytoimissa, tilan sisäisissä kuljetuksissa, rehunjaossa ja leikkuupuimureissa sadonkorjuussa. Polttoaineenkulutuksesta vähennettiin tilan ulkopuoliset työt kuten lumi- ja metsätyöt, sekä lisättiin tilan ulkopuolisten urakoitsijoiden tekemät työt arvioimalla polttoaineenkulutus tehdyn työn perusteella. Suurimmalla osalla tiloista sadon kuivaukseen käytettiin polttoöljyä ja sähköä. Eläintiloilla sähköä kului myös eläinsuojissa. Tila-aineistossa oli myös

kohdentamatonta energiankäyttöä, joka kohdennettiin päästölaskuissa tasaisesti kaikille viljellyille hehtaareille polttoaineenkulutukseksi.

Polttoöljyn KHK-päästöt laskettiin käyttämällä polttoaineenkäytön yksikköpäästöjä (taulukko 3). Polttoaineenkäytön KHK-päästöjä ei eritelty laskelmissa työvaiheiden kesken, vaan ne eriteltiin pelkästään kasvikohtaisesti kuivauksen ja muun kulutuksen kesken.

Käytetyn sähkön KHK-päästöt laskettiin käyttämällä Suomen keskimääräistä sähkönhankinnan CO₂-päästökerrointa 223 g CO₂/kWh vuodelta 2012 (Motiva 2014).

Taulukko 3. Polttoaineenkäytön päästökertoimet.

Polttoaineenkäytön yksikköpäästöt (g/l polttoöljyä)			
	CH ₄	N ₂ O	CO ₂
Maataloustraktori ¹⁾	0,15	0,072	2624
Leikkuupuimuri ¹⁾	0,15	0,071	2607
Kuivaus ²⁾	0,36	0,073	2679

1) (VTT 2009)

2) (Statistics Finland 2014)

4.2.5 Epäsuoran energian KHK-päästöt

Tilojen KHK-päästöiksi laskettiin myös joitain tilan ulkopuolisista päästölähteistä muodostuvia merkittäviksi arvioituja KHK-päästöjä. Laskelmiin sisällytettiin synteettisten lannoitteiden, kasvinsuojeluaineiden ja kalkin valmistuksesta aiheutuneet KHK-päästöt. Lisäksi eläintuotannon KHK-päästöjä laskettaessa epäsuorasta energiasta aiheutuvia KHK-päästöjä syntyi rehun ja kuivikkeiden tuotannossa. Eläintuotannon epäsuorat KHK-päästöt on käsitelty kohdassa 4.2.8 rehut ja kuivike.

Typpilannoitteiden valmistus

Synteettisten typpilannoitteiden valmistuksesta aiheutuneet KHK-päästöt ja niiden vaikutukset laskelmiin olivat yksi tämän tutkimuksen tärkeimmistä kiinnostuksen kohteista. Työssä käytettiin kahta erilaista typpilannoitteiden valmistuksen KHK-päästöä. Yaran Suomen markkinoille toimittamien typpilannoitteiden keskimääräinen KHK-

päästö oli 3,2 kg CO₂-ekv. tuotettua typpikiloa kohden, kun puolestaan EU:n alueella tavanomaisissa typpilannoitetehtaissa tuotettuiden typpilannoitteiden keskimääräinen KHK-päästö oli 7,8 kg CO₂-ekv./kg N (Yara 2014). Yaran lannoitteiden KHK-päästöt olivat merkittävästi alhaisemmat kuin muualla EU:n alueella tuotettujen lannoitteiden, koska Yaran tehtailla käytettiin katalyyttistä typenpoistoa (Sinkko ym. 2010). Alkutilanteen ja perusmallin laskelmissa käytettiin korkeampaa, EU-alueen keskimääräistä päästöarvoa ja typpimallissa puolestaan Yaran lannoitteiden KHK-päästöarvoa.

Fosfori- ja kaliumlannoitteiden valmistus

Fosforin valmistuksen KHK-päästö oli 710 g CO₂-ekv. fosforikiloa kohden ja kaliumille 460 g CO₂-ekv. kaliumkiloa kohden (Punter ym. 2004).

Kasvinsuojeluaineiden valmistus

Kasvinsuojeluaineiden valmistuksen KHK-päästökerroin oli 5389 g CO₂-ekv. tehoainekiloa kohden (Ahlgren ym. 2009). Päästölaskelmia yksinkertaistettiin siten, että KHK-päästöt laskettiin käytettyjen aineiden kokonaismäärän, ei tehoaineiden määrän mukaan. Tästä syystä kasvinsuojeluaineiden valmistuksesta aiheutuneet KHK-päästöt olivat laskelmissa todellista suuremmat. Tilatasolla tarkasteltuna nämä KHK-päästöt olivat kuitenkin marginaaliset, eikä tämä aiheuttanut suurta virhettä lopputulokseen. Kasvinsuojeluaineiden käyttö ajateltiin pysyvän lisäksi lähes vakiona mallien välillä, joten mainittu yksinkertaistus ei haitannut mallien keskinäistä vertailua.

Kalkin valmistus

Kalkituksen epäsuoriksi KHK-päästöiksi laskettiin kalkin valmistuksen KHK-päästöt. Kalkin valmistukseen kuluu sähköä 30 kWh/t ja kevyttä polttoöljyä 3,5l/t (Mäkinen ym. 2006), joten kalkin valmistuksen päästökerroin oli 16 kg CO₂-ekv. kalkkitonnia kohden.

4.2.6 Maaperän KHK-päästöt

Maaperän KHK-päästöistä laskuissa huomioitiin suorat typpioksiduulipäästöt maaperästä ja epäsuorat typpioksiduulipäästöt typen huuhtoutumisesta sekä laskeumasta.

Myös kalkituksesta maaperässä aiheutuvat suorat hiilidioksidikaasupäästöt huomioitiin.

Suoria N₂O-päästöjä maaperästä aiheuttavat teolliset typpilannoitteet, lanta lannoitteena ja laitumella, kasvintähteet sekä orgaanisten maiden viljely (Statistics Finland 2014).

Orgaanisten maiden viljelystä aiheutuvia N₂O-päästöjä ei huomioitu, sillä maalajeja ei tarkasteltu tila-aineistossa eikä yhteistyömalleissa. Suorat typpioksiduulikaasupäästöt laskettiin IPCC:n (2006) laskentaohjeita noudattaen. Päästökertoimet on annettu taulukossa 4.

Taulukko 4. Maaperän N₂O-päästöjen laskennassa käytetyt päästökertoimet (EF) (IPCC 2006).

				Epävarmuusväli	
				<i>min</i>	<i>max</i>
Väkilannoitteet, lanta, kasvijäte	EF ₁	0,01	kg N ₂ O-N/kg N	0,003	0,03
Virtsa ja sonta laitumella	EF ₃	0,02	kg N ₂ O-N/kg N/a	0,002	0,05
Typpilaskeuma	EF ₄	0,01	kg N ₂ O-N/kg NH ₃ -N & NO _x -N	0,0005	0,025
Typpihuuhtoumaa	EF ₅	0,0075	kg N ₂ O-N/kg N/a	0,007	0,06

Typpilannoitteet maaperässä

Teollisten lannoitteiden ja lannan maaperässä aiheuttamat typpioksiduulipäästöt laskettiin kaavan 1 mukaisesti.

N₂O-päästöt väkilannoitteista ja lannasta maaperässä (IPCC 2006).

Kaava 1

$$N_2O = (N_{SN} + N_{ON}) \times EF_1 \times 44/28$$

missä

$$N_{SN} = \text{Väkilannoitteissa levitetyn typen määrä}$$

$$N_{ON} = \text{Lannassa levitetyn typen määrä}$$

$$EF_1 = \text{Päästökerroin}$$

$$44/28 = \text{N}_2\text{O-N-päästön muunnos N}_2\text{O-päästökseksi}$$

Kasvintähteet

N₂O-päästöt kasvintähteestä laskettiin kaavalla 2 ja käyttäen taulukon 5 laskentaparametreja. Kaikille kasveille ei voitu laskea kasvintähteestä aiheutuvia päästöjä IPCC:n (2006) ohjeiden mukaisesti parametrien puuttumisen vuoksi. Rypsilille, sokerijuurikkaalle ja apilan siemenelle kasvintähteen N₂O-päästöt laskettiin IPCC:n (2000a) ohjeiden mukaisesti. Käytetyt päästökertoimet näille kasveille on esitetty taulukossa 6.

N₂O-päästöt kasvintähteestä (IPCC 2006).

Kaava 2

$$N_2O = F_{CR} \times EF_1 \times 44/28$$

missä

$$EF_1 = \text{Päästökerroin}$$

$$44/28 = N_2O\text{-}N\text{-päästön muunnos } N_2O\text{-päästökseksi}$$

$$F_{CR} = Crop_{(T)} \times Frac_{Renew} \times (Area_{(T)} \times R_{AG(T)} \times N_{AG(T)} \times (1 - Frac_{Remove}) + Area_{(T)} \times R_{BG(T)} \times N_{BG(T)})$$

missä

$$Crop_{(T)} = \text{Kasvin (T) kuiva-ainesato (= } Sato_{(T)} \times DRY_{(T)} \text{ (taulukko 5))}$$

$$Frac_{Renew} = \text{Osuus kasvin (T) alasta, joka uusitaan vuosittain}$$

$$R_{AG(T)} = \text{Maan yläpuolisen kasvintähteen suhde satoon}$$

$$N_{AG(T)} = \text{Maan yläpuolisen kasvintähteen N-pitoisuus (taulukko 5)}$$

$$Frac_{Remove} = \text{Osuus korjatusta kasvintähteestä, esim. oljet}$$

$$R_{BG(T)} = \text{Maan alapuolisen kasvintähteen suhde satoon}$$

$$N_{BG(T)} = \text{Maan alapuolisen kasvintähteen N-pitoisuus (taulukko 5)}$$

missä

$$R_{AG(T)} = AG_{DM(T)} \times 1000 / Crop_{(T)}$$

ja

$$R_{BG(T)} = (AG_{DM(T)} \times 1000 + Crop_{(T)}) / Crop_{(T)}$$

missä

$$AG_{DM(T)} = (Crop_{(T)} / 1000) \times slope_{(T)} + intercept_{(T)}$$

missä

$$Crop_{(T)} = \text{Kasvin (T) kuiva-ainesato (= } Sato_{(T)} \times DRY_{(T)} \text{ (taulukko 5))}$$

Kasvikohtaiset slope ja intercept -arvot ovat annettu taulukossa 5

Taulukko 5. Kasvintähteiden N₂O-päästölaskuissa käytetyt kasvikohtaiset parametrit (IPCC 2006).

Kasvi	DRY _(T)	Slope _(T)			Intercept _(T)			N _{AG(T)}	N _{BG(T)}
		<i>min</i>		<i>max</i>	<i>min</i>		<i>max</i>		
Syysvehnä	0,89	1,56	1,61	1,66	0,30	0,40	0,50	0,006	0,009
Kevätvehnä	0,89	1,23	1,29	1,35	0,56	0,75	0,95	0,006	0,009
Ruis	0,88	0,55	1,09	1,64	0,44	0,88	1,32	0,005	0,011
Ohra	0,89	0,90	0,98	1,06	0,35	0,59	0,83	0,007	0,014
Kaura	0,89	0,86	0,91	0,96	0,82	0,89	0,96	0,007	0,008
Sekavilja	0,88	1,07	1,09	1,11	0,83	0,88	0,93	0,006	0,009
Kokoviljasäilörehu	0,90	0,15	0,30	0,45	0,00	0,00	0,00	0,015	0,012
Härkäpapusäilörehu	0,90	0,15	0,30	0,45	0,00	0,00	0,00	0,027	0,022
Herne	0,91	0,92	1,13	1,34	0,39	0,85	1,33	0,008	0,008
Härkäpapu	0,91	0,92	1,13	1,34	0,39	0,85	1,33	0,008	0,008
Peruna	0,22	0,03	0,10	0,17	0,32	1,06	1,80	0,019	0,014
Apilanurmet	0,90	0,15	0,30	0,45	0,00	0,00	0,00	0,025	0,016
Muut nurmet	0,90	0,15	0,30	0,45	0,00	0,00	0,00	0,015	0,012
Kuivaheinä	0,90	0,09	0,18	0,27	0,00	0,00	0,00	0,015	0,012

Taulukko 6. IPCC:n (2000a) ohjeiden mukaiset rypsin, sokerijuurikkaan ja apilansiemenen N₂O-päästöt kasvintähteestä.

Kasvi	g N ₂ O / kg satoa
Rypsi/rapsi	0,73
Sokerijuurikas	0,01
Apilan siemen	1,02

Laidun

Laitumella olevien eläinten aiheuttamat N₂O-päästöt laskettiin kaavan 3 mukaisesti käyttämällä taulukon 7 mukaisia nautojen keskimääräisiä painoja. Laidunkauden pituudeksi laskelmissa oletettiin 120 päivää (Pipatti 1997).

Laitumen N₂O-päästöt (IPCC 2006).

Kaava 3

$$N_2O = F_{PRP} \times EF_3 \times 44/28$$

missä

$$EF_3 = \text{Päästökerroin}$$

$$44/28 = N_2O\text{-}N\text{-päästön muunnos } N_2O\text{-päästökseksi}$$

$$F_{PRP} = D \times ER \times M_A (= \text{Laitumelle päätyvän lannan typpimäärä})$$

missä

D = laidunkauden pituus (120 d) (Pipatti 1997)

ER = Keskimääräinen eläinten typpituotos (0,35 kg N (1000 kg elopainoa)⁻¹ päivä⁻¹) (IPCC 2006)

M_A = Eläinten kokonaiselopaino (1000 kg)

Taulukko 7. Nautojen keskimääräinen paino (Pipatti 1997).

Lypsylehmät	500 kg
Hiehot	400 kg
Emolehmät	600 kg
Sonnit	460 kg
Vasikat	150 kg

Typpihuuhtouma ja -laskeuma

Epäsuorat N₂O-päästöt maaperään lisätyistä typpilannoitteista laskettiin kaavojen 4 ja 5 mukaisesti. Typpilaskeuman päästölaskut huomioivat maaperään lisätyistä typpilannoitteista aiheutuvien KHK-päästöjen lisäksi myös lannoitteeksi käytetyn lannan varastoinnin, sekä levityksen aikana vapautuvat ja laitumille päätyvän lannan ammoniakkipäästöt (Statistics Finland 2014). Typen huuhtoumaa ja laskeumaa laskettaessa käytettiin kansallisia parametreja määrittelemään lisätystä typpikilosta huuhtoutuvaa sekä NH₃- ja NO_x-päästöiksi muuttuvaa osuutta (taulukko 8).

Epäsuorat N₂O-päästöt typen huuhtoutumisesta (IPCC 2006).

Kaava 4

$$N_2O = (N_{SN} + N_{ON}) \times \text{Frac}_{LEACH} \times EF_5 \times 44/28$$

missä

N_{SN} = Väkilannoitteissa levitetyn typen määrä

N_{ON} = Lannassa levitetyn typen määrä

Frac_{LEACH} = Huuhtoutuva osuus lisätystä tpestä

EF_5 = Päästökerroin

$44/28$ = N₂O-N-päästön muunnos N₂O-päästökseksi

Epäsuorat N₂O-päästöt maatalouden aiheuttamasta typen laskeumasta (IPCC 2006).

Kaava 5

$$N_2O = [(N_{SN} \times \text{Frac}_{GASF}) + (N_{ON} \times \text{Frac}_{GASM})] \times EF_4 \times 44/28$$

missä

$$N_{SN} = \text{Väkilannoitteissa levitetyn typen määrä}$$

$$N_{ON} = \text{Lannassa levitetyn typen määrä}$$

$\text{Frac}_{GASF} = \text{NH}_3\text{- ja NO}_x\text{-typeksi muuttuva osuus maahan lisäystä väkilannoitetyypestä}$

$\text{Frac}_{GASM} = \text{NH}_3\text{- ja NO}_x\text{-typeksi muuttuva osuus maahan lisäystä lannan tyypestä}$

$$EF_4 = \text{Päästökerroin}$$

$$44/28 = \text{N}_2\text{O-N-päästön muunnos N}_2\text{O-päästökseksi}$$

Taulukko 8. Kansalliset parametrit epäsuorien N₂O-päästöjen laskentaan (Statistics Finland 2014).

Lisäystä tyypestä huuhtoutuu	Fra _C LEACH	15 %
Lisäystä tyypestä muuttuu NH ₃ - ja NO _x -typeksi		
-Väkilannoite	Fra _C GASF	1,5 %
-Lanta	Fra _C GASM	25 %

Kalkitus

Kalkituksen maaperässä aiheuttamat suorat hiilidioksidipäästöt laskettiin IPCC:n (2003) ohjeita noudattaen (kaava 6). Laskelmissa käytetyt päästökertoimet on esitetty taulukossa 9. Kalkkikiven (CaCO₃) ja puristekalkin päästöarvo oli 440 kg CO₂/tonni kalkkia ja dolomiittikalkin päästöarvo 477 kg CO₂/tonni kalkkia.

Kalkin CO₂-päästöt maaperässä (IPCC 2003).

Kaava 6

$$CO_2 = (M_L \times EF_L + M_D \times EF_D + M_{BL} \times EF_{BL}) \times 44/12$$

missä

$$M_L = \text{Vuosittain levitetyn kalkkikiven määrä, tonnia}$$

$$M_D = \text{Vuosittain levitetyn dolomiittikalkin määrä, tonnia}$$

$$M_{BL} = \text{Vuosittain levitetyn puristekalkin määrä, tonnia}$$

$EF_L = \text{Kalkkikiven päästökerroin}$

$EF_D = \text{Dolomiittikalkin päästökerroin}$

$EF_{BL} = \text{Puristekalkin päästökerroin}$

$44/12 = \text{CO}_2\text{-C-päästön muunnos CO}_2\text{-päästöksi}$

Taulukko 9. Kalkituksen CO₂-päästöjen laskennassa käytetyt päästökertoimet (IPCC 2003, Statistics Finland 2014).

CaCO ₃	EF _L	0,12 kg C / kg CaCO ₃
CaMg(CO ₃) ₂	EF _D	0,13 kg C / kg CaMg(CO ₃) ₂
Puristekalkki	EF _{BL}	0,12 kg C / kg puristekalkkia

4.2.7 Ruoansulatus ja lannankäsittely

Eläinten metaanipäästöjen laskennassa käytettiin taulukon 10 mukaisia kansallisia päästökertoimia. Lannankäsittelyn N₂O-päästöjä laskettaessa käytettiin IPCC:n (2006) päästökertoimia. Kuivikelannan päästökerroin oli 0,02 kg N₂O-N/kg N ja lietelannan 0,005 kg N₂O-N/kg N. Päästöt laskettiin kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion ohjeita noudattaen (kaava 7).

Lannankäsittelyn N₂O-päästöt (Statistics Finland 2014).

Kaava 7

$$N_2O = (N_K \times EF_K + N_L \times EF_L) \times 44/28$$

missä

$N_K = \text{Eläinten kuivikelannassa tuottama typpimäärä}$

$EF_K = \text{Kuivikelannan päästökerroin}$

$N_L = \text{Eläinten lietelannassa tuottama typpimäärä}$

$EF_L = \text{Lietelannan päästökerroin}$

$44/28 = \text{N}_2\text{O-N-päästön muunnos N}_2\text{O-päästöksi}$

Taulukko 10. Ruoansulatuksen ja lannankäsittelyn CH₄-päästöt (Statistics Finland 2014).

	Ruoansulatus (kg CH ₄ /eläinpaikka/a)	Lannankäsittely (kg CH ₄ /eläinpaikka/a)
Lypsylehmä	130,12	15,22
Emolähmä	69,53	5,44
Sonni	53,92	4,38
Hieho	49,42	2,58
Vasikka	36,26	2,54
Lihakarja	45,72	1)
Emakko	3,56	2,28
Porsas	0,13	2,28
Kasvatussika	1,22	4,76
Karju	3,47	2,28
Vieroitettu porsas	0,61	4,76

1) Ei taulukkoarvoa lihakarjalle, laskelmissa on käytetty sonnin CH₄-päästökerrointa.

4.2.8 Rehut ja kuivike

Tutkimukseen osallistuneilla tiloilla oli käytössä lukuisia erilaisia rehuja, rehuseoksia ja täydennysrehuja. Tiloille käytetyille rehuille laskettiin KHK-päästöt tilatietojen, kirjallisuuden ja yritysten luovuttamien tietojen avulla.

Tilalla tuotetuille rehuille laskettiin KHK-päästöt tutkimuksen tilatietojen pohjalta. Tiloilla, joilla tuotettiin itse eläimille syötettyä rehua, käytettiin näille rehuille KHK-päästöinä oman kasvintuotannon KHK-päästöjä. Tilatietojen pohjalta laskettiin myös kaikille esimerkkituloilla tuotetuille erilaisille rehuille keskimääräiset tuotannon KHK-päästöt. Näitä keskimääräisiä rehujen tuotannon KHK-päästöjä käytettiin ostorehujen laskelmissa tiloilla, joilla ei itse tuotettu jotain syötettyä rehua (taulukko 11).

Taulukko 11. Tutkimukseen osallistuneilla tiloilla tuotettujen rehujen keskimääräiset KHK-päästöt.

	kg CO ₂ -ekv./t		
	Alkutilanne	Perusmalli	Typsimalli
Apilapitoinen säilörehu	371	345	338
Kuivaheinä	366	319	275
Ohra	645	574	507
Vehnä	684	625	539
Kaura	527	612	556
Herne	672	453	408
Härkäpapu	388	494	448
Rypsi	1227	1090	923
Kokoviljasäilörehu	692	1203	1203
Härkäpapusäilörehu	367	374	370

Tutkimukseen osallistuneilla tiloilla oli käytössä myös jalostettuja rehuja, joita ei tuotettu tiloilla. Tärkeimmät tilojen ulkopuolella tuotetut rehut olivat juurikasleike, mäski, ohravalkuaisrehuliemi (OVR), rehutiivisteet, rypsiöljy ja rypsipuriste. Juurikasleikkeelle käytettiin kirjallisuuden päästöarvoa 288 kg CO₂-ekv./t (Casey ja Holden 2005). Muille ostorehuille laskettiin tuotannon KHK-päästöarvot kirjallisuuden ja haastattelujen perusteella sekä tilatietojen perusteella niille rehuille, joiden raaka-aineena oli tiloilla tuotettuja rehukasveja. Kaikkien rehujen raaka-aineet ajateltiin viljeltävän tutkimukseen osallistuneilla tiloilla käytettyjen tuotantomenetelmien mukaisesti, joten jokaisessa mallissa käytettiin kyseisen mallin keskimääräisiä viljelyn KHK-päästöjä rehulaskelmissa.

Mäski

Mäskiä syntyy panimoteollisuuden sivutuotteena mallastuksen ja oluen panemisen yhteydessä (Carlsberg 2005). Koska mäski on sivutuote, päätettiin sille allokoida pelkästään maltaan raaka-aineeksi viljellyn ohran tuotannon KHK-päästöistä mäskin osuus suhteessa muihin oluttuotannon tuotteisiin. Itse mallastuksen sekä oluttuotannon KHK-päästöt ajateltiin kuuluvan kokonaan päätuotteelle eli oluelle, joten niitä ei kohdistettu ollenkaan mäskille. Mäskin kuiva-ainepitoisuus on alhainen (22 %) (MTT 2014), joten mäskille allokoitiin vain sen kuiva-aineen osuutta kaikista oluttuotannon tuotteista vastaava määrä ohrantuotannon KHK-päästöistä. Mäskin kuiva-ainetta syntyy oluentuotannossa 3 % kaikista pää- ja sivutuotteista, joten mäskille allokoitiin tämä osuus raaka-ai-

netuotannon KHK-päästöistä (Carlsberg 2005). Ohrantuotannon KHK-päästöinä käytettiin tutkimuksen tilatietojen ohrantuotannon keskimääräistä KHK-päästöä. Koska ohrantuotannon KHK-päästöt vaihtelivat mallien välillä, vaihteli myös mäskin päästöarvo hieman. Mäskin päästöarvo alkutilanteessa oli 23 g CO₂-ekv./kg mäskiä, perusmallissa 20 g CO₂-ekv./kg mäskiä ja typpimallissa 18 g CO₂-ekv./kg mäskiä.

Ohravalkuaisrehu

Ohravalkuaisrehu on ohraetanolituotannon sivutuote ja OVR-rehun päästöarvon laskennassa käytettiin avuksi Asko Rantaselta saatua ohraetanolin prosessikuvausta (Asko Rantanen, Altia Oyj, sähköposti kirjoittajalle 4.3.2015). Kuten mäskilläkin, OVR-rehun kuiva-ainepitoisuus on matala (17,8 %) (MTT 2014), joten OVR-rehulle allokoitiin OVR-rehun kuiva-aineen osuutta muihin ohraetanolituotannon tuotteisiin vastaava määrä raaka-aineohran tuotannon KHK-päästöistä. Raaka-aineohran KHK-päästönä käytettiin tässäkin tapauksessa tilojen keskiarvoa.

Prosessikuvauksesta pystyttiin selvittämään ohravalkuaisrehun tuotantoon käytetty energiamäärä, joten OVR-rehulle KHK-päästöihin sisällytettiin myös tuotannon KHK-päästöt. OVR-rehun päästöarvo alkutilanteessa oli 173 g CO₂-ekv./kg OVR-rehua, perusmallissa 156 g CO₂-ekv./kg OVR-rehua ja typpimallissa 140 g CO₂-ekv./kg OVR-rehua. Tarkempaa kuvausta OVR-rehun päästöarvon laskuprosessista ei tässä työssä voida esittää yrityssalaisuuteen vedoten.

Rehutiivisteet

Tutkimukseen osallistuneilla sikatiloilla käytettiin merkittäviä määriä rehutiivisteitä ruokinnan lisänä. Näiden täydennysrehujen reseptit ovat yrityssalaisuuksia, joten tarkkaa kuvausta rehutiivisteiden päästöarvon laskennasta ei tässä työssä voida antaa.

Päästöarvo täydennysrehuille laskettiin käytössä olevan täydennysrehureseptin mukaisesti, mutta tässä työssä esitetty raaka-ainelista on vain esimerkki sikatiivisteissä käytetyistä raaka-aineista. Laskelmissa käytetyn reseptin omistajan toiveesta reseptin lähde ei julkaista tutkimuksen yhteydessä. Laskelmassa tiivisteelle allokoitiin sen raaka-aineiden tuotannon KHK-päästöt kirjallisuuden sekä joidenkin raaka-aineiden osalta tilatietojen avulla (taulukko 12). Itse rehuntuotantoprosessin KHK-päästöjä ei voitu sisällyttää

laskelmiin, koska tuotantoprosessin tietoja ei ollut saatavilla. Rehutiivisteiden päästöarvo oli 901 g CO₂-ekv./kg alkutilanteessa, 894 g CO₂-ekv./kg perusmallissa ja 855 g CO₂-ekv./kg tyypimallissa.

Taulukko 12. Rehutiivisteiden KHK-päästöjen laskennassa käytetyt raaka-aineiden KHK-päästöt.

Tiivisteiden raaka-aine	g CO ₂ -ekv/kg	
Soijarouhe	730	Eriksson ym. (2005)
Kauraperäiset	570	Adom ym. (2012)
Auringonkukkarouhe	302	Hörtenhuber ym. (2011)
Rypsipuriste	828 ¹⁾	
Kalsiumkarbonaatti	19	Vellinga ym. (2013)
Aminohapot	3600	Eriksson ym. (2005)
Suola	18	Vellinga ym. (2013)
Kasviöljyt	13000	Risku-Norja ym. (2009)
Magnesiumoksidi	1060	Vellinga ym. (2013)

1) Alkutilanne 828 g CO₂-ekv./kg, perusmalli 748 g CO₂-ekv./kg ja tyypimalli 649 g CO₂-ekv./kg, laskettu tilatietojen perusteella

Rypsiöljy ja rypsipuriste

Rypsiöljylle ja rypsipuristeelle laskettiin KHK-päästöt tutkimukseen osallistuneiden tilojen keskimääräisen rypsinviljelyn KHK-päästön perusteella. Lisäksi rypsiöljyn puristuksen KHK-päästöt otettiin huomioon. Rypsiöljyn puristuksessa öljynsaanto on Przybylskin ym. (2005) mukaan 41 % ja jäljelle jäävä 59 %:n osuus on rypsipuristetta. Näitä suhteita käytettiin rypsinviljelyn ja öljyn puristuksen KHK-päästöjen allokoinnissa rypsiöljylle ja rypsipuristeelle. Rypsin viljelyn KHK-päästöt olivat alkutilanteessa keskimäärin 1227 kg CO₂-ekv./t, perusmallissa 1090 kg CO₂-ekv./t ja tyypimallissa 923 kg CO₂-ekv./t sekä rypsiöljyn puristuksen KHK-päästöt 177 kg CO₂-ekv./t öljyä (Elsayed ym. 2003). Päästöarvot rypsiöljylle ja rypsipuristeelle on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Rypsiöljyn ja rypsipuristeiden KHK-päästöarvot.

	Alkutilanne	Perusmalli	Tyypimalli
Rypsiöljy (kg CO ₂ -ekv./tonni öljyä)	576	519	451
Rypsipuriste (kg CO ₂ -ekv./tonni puristetta)	828	748	649

Marginaalirehut

Joitain vähemmän käytettyä rehuja jätettiin laskuista kokonaan pois, koska niille ei pystytty määrittelemään luotettavasti arviota tuotannon KHK-päästöistä. Toisaalta pois jätettyjen rehujen käyttömäärät olivat niin alhaisia, ettei niiden pois jättämisen arvioitu vaikuttavan merkittävästi laskelmien lopputulokseen. Käyttömääriltään suurin yksittäinen laskelmien ulkopuolelle jätetty rehulaji oli kivennäiset, joiden käyttö eniten kivennäisiä käyttävällä tilalla oli vain 1,8 % eläimille syötetystä rehusta. Kaikkien laskelmista poisjätettyjen rehut tuotteiden käyttö koko tila-aineistossa oli vain 1,1 % syötetyistä rehuista, joten näiden pois jättäminen laskelmista oli perusteltua luotettavien päästöarvojen puuttuessa.

Kuivikkeet

Kuivikkeina tiloilla käytettiin turvetta, olkea, kutteria ja purua. Päästölaskelmiin otettiin mukaan ainoastaan turpeen KHK-päästöt. Muut kuivikkeet määriteltiin sivutuotteiksi, eikä niille kohdistettu KHK-päästöjä lainkaan. Turpeelle kohdistettiin tuotantoalueen tuotannonaikaiset maaperän KHK-päästöt, KHK-päästöt varastoista sekä tuotantokoneiden KHK-päästöt. Turvetuotannon välillisiä KHK-päästöjä ei otettu huomioon niiden monimutkaisuuden ja kiistanalaisuuden vuoksi. Turpeen KHK-päästöt laskettiin taulukossa 14 esitetyistä turvetuotannosta kerätyistä tiedoista. Lisäksi käytettiin turpeen energiasisältöä 0,47 MWh/m³ (Kirkinen ym. 2007), energiamuunnosta 1 kWh = 3,6 MJ (Ahokas 2011), sekä turpeen kuiva-ainepitoisuutta 175 kg kuiva-ainetta/m³ (Alakangas ym. 2011). Turpeen päästöarvo oli 91 g CO₂-ekv./kg kuiva-ainetta.

Taulukko 14. Turvetuotannon KHK-päästöt (Kirkinen ym. 2007).

Päästölähde	g CO ₂ /MJ	gCH ₄ /MJ
Turvetuotantoalue	6,84	0,0039
Varastot	1,48	0
Työkoneet	1	0

4.2.9 Siementuotanto

Siementuotannon KHK-päästöt laskettiin kaavan 8 mukaisesti suurimmalle osalle viljeltyjä kasveja. Laskentamenetelmän antamat siemenen KHK-päästöt vastasivat tilalla tuotetun siemenen KHK-päästöjä, joten käytetyt siemenet ajateltiin tilan itse tuottamana siemenenä.

Joidenkin kasvien siementuotannon KHK-päästöinä käytettiin kiinteää % -osuutta tuotannon KHK-päästöistä. Sokerijuurikkaalle siementuotannon KHK-päästönä käytettiin 0,14 % ja kokoviljasäilörehulle 7 % viljelyn kokonaispäästöistä (Sinkko ym. 2010). Härkäpapusäilörehun siemenpäästön osuus laskettiin keskimääräisen siemenmäärän ja keskimääräisen sadon avulla. Keskimäärin härkäpavun viljelyssä käytetään siementä 250 kg/ha (Agrimarket 2015) ja satoa puolestaan saadaan keskimäärin 2454 kg/ha (Luonnonvarakeskus 2015). Härkäpapusäilörehulle siementuotannon KHK-päästönä käytettiin 10 % viljelyn kokonaispäästöistä.

Nurmikasveille ei laskettu ollenkaan siemenen KHK-päästöjä. Nurmikasveilla käytetyt siemenmäärät olivat hyvin pieniä ja kylvö ei tapahtunut joka vuosi, joten siementuotannon KHK-päästöt oletettiin hyvin pieniksi.

Siementuotannon KHK-päästöt.

Kaava 8

$$CO_2-ek_{V(S)} = CO_2-ek_{V(ES)} / (Sato - Siemenmäärä) \times Siemenmäärä$$

missä

$$CO_2-ek_{V(S)} = \text{Siementuotannon päästöt}$$

$$CO_2-ek_{V(ES)} = \text{Kasvin kokonaispäästö ennen siementuotannon päästöä}$$

$$Sato = \text{Kasvin kokonaissato (kg)}$$

$$Siemenmäärä = \text{Käytetty kokonaissiemenmäärä kasville (kg)}$$

4.2.10 KHK-päästöjen laskenta ja allokointi

Edellä mainitut laskentaparametrit ohjelmoitiin FarmCALC 2.1. -laskuriin siten, että laskuri suoritti KHK-päästöjen laskennan automaattisesti annettujen parametrien ja lähtötietojen mukaisesti. Laskuri antoi ensisijaiset tulokset hiilidioksidiekvivalentteina tuotettua kiloa kohden, mutta laskurin avulla voitiin myös tarkastella tilan kokonaispäästöjä sekä tarkempaa KHK-päästöjen jakautumista eri päästölähteille.

Kasvituotteiden KHK-päästöt laskettiin grammoina CO₂-ekvivalenttia per tuotettu sato-kilo. Säilörehujen KHK-päästöt laskettiin kuiva-ainesadolle, mutta muille kasvituotteille varastointikosteudessa olevalle sadolle.

Eläintuotannon KHK-päästöt laskettiin kiloina CO₂-ekvivalenttia per tuotettu liha- tai maitokilo. Maidontuotannon KHK-päästöjä laskettaessa maidon tiheydeksi oletettiin 1 kg/litra. Lihantuotannon KHK-päästöt laskettiin tiloilla tapahtuvaa teuraspainon (kg) liästä kohden. Maitotilojen KHK-päästöistä allokointiin ruokintaan perustuvan allokoinnin perusteella lihantuotannolle 15 % ja maidontuotannolle 85 % (Cederberg ja Mattsson 2000). Ruokintaan perustuvaan KHK-päästöjen allokointiin päädyttiin siksi, että rehut olivat eläintuotannon suurin yksittäinen päästölähde.

Oman hankaluutensa laskuihin toi tiloilla vuoden aikana tuotetun ja syötetyn rehun määrien poikkeaminen toisistaan. Tiloilla saatettiin syöttää eläimille vielä aikaisempina vuosina tuotettuja rehuja, ja toisaalta kaikkia tutkimusvuonna tuotettuja rehuja ei vielä välttämättä syötetty eläimille. Päästölaskurissa ongelma ratkaistiin siten, että kaikki eläimille syötetty rehu, jos sitä oli tilalla tuotettu, ajateltiin olevan tutkimusvuonna tuotettua. Jos tuotettua rehua jäi yli, ajateltiin se myytäväksi tilan ulkopuolelle. Toisaalta, jos tuotettu rehu ei riittänyt syötettyyn määrään, ajateltiin erotus ostettuna ulkopuolelta. Tällöin eläintuotannolle saatiin kohdistettua juuri kyseisen vuoden rehunkäyttöä vastaavat KHK-päästömäärät ja toisaalta ylimääräisten rehujen KHK-päästöt otettiin huomioon kasvintuotannon kokonaispäästöissä.

4.3 Herkkyystarkastelu

Koska tutkimuksessa keskityttiin erityisesti etsimään eroja tilatasolla erilaisten typpilannoituskäytäntöjen välillä, päätettiin herkkyystarkastelu kohdistaa typpilannoitteiden KHK-päästöjen epävarmuusvälin tarkasteluun. Pääasiassa KHK-päästöt erilaisista typpilannoitteista syntyvät maaperän N_2O -päästöinä ja toisaalta typpilannoitteiden valmistuksen KHK-päästöinä.

Typpioksiduulipäästöjen laskentaan tarkoitetuille IPCC:n (2006) laskentaparametreille on ohjeissa määritelty epävarmuusvälit, joita käytettiin tutkimuksessa herkkyystarkasteluun. Taulukossa 4 on esitetty käytettyjen päästökerrointen epävarmuusvälit ja taulukossa 5 kasvintähteiden laskentaparametrien epävarmuusvälit. FarmCALC 2.1. -laskuri huomioi nämä epävarmuusvälit siten, että se laski tulokset annettujen KHK-päästöparametrien lisäksi myös epävarmuusvälin minimi- sekä maksimiarvolla, ja näitä minimi- sekä maksimituloksia käytettiin herkkyystarkastelussa tulosten epävarmuusvälinä.

Tulokset laskettiin yhteistyötilanteessa myös kahdella erilaisella typpilannoitteiden valmistuksen KHK-päästötasolla, jotta typpilannoitteiden valmistuksen KHK-päästöjen vaikutuksia tuloksiin voitiin arvioida. Typpilannoitteiden valmistuksen päästötasoina käytettiin Yaran Suomen markkinoille toimittamien typpilannoitteiden valmistuksen KHK-päästöä 3,2 kg CO_2 -ekv./kg N sekä EU:n alueella tuotettujen typpilannoitteiden keskimääräistä typpilannoitteiden valmistuksen KHK-päästöä 7,8 kg CO_2 -ekv./kg N (Yara 2014).

Herkkyystarkastelu on otettu huomioon mallien välisiä muutoksia kuvaavissa kuvaajissa hajontapalkkien avulla. Lisäksi perus- ja typpimallin väliset erot kuvaavat typpilannoitteiden valmistuksen KHK-päästöistä aiheutuvaa vaihtelua.

5 TULOKSET

Tilapareille laskettiin kasvintuotannon sekä eläintuotannon KHK-päästöt alkutilanteessa ja kahdella erilaisella mallilla käyttäen tutkimusta varten kehitettyä Excel-pohjaista laskuria (FarmCALC 2.1) (Liite 1). Tuloksissa on esitetty alkutilanteen KHK-päästöt ja mallien aiheuttamat muutokset. Tuloksia tarkasteltiin tilaparikohtaisesti, sillä tilaparien

välinen vaihtelu ei ollut tutkimuksen kiinnostuksen kohteena, eikä sen haluttu sotkevan mallien välistä vaihtelua. Tilapareista on käytetty tuloksia esittäessä taulukon 15 mukaista numerointia.

Taulukko 15. Tuloksissa käytetty numerointi tilapareille. Tilojen tarkempi kuvaus on esitetty taulukossa 1.

Tilapari	Tuotantosuunta
1	Lihanauta (luomupelto) + luomu kv
2	Lihasika + kv yhdistelmätila
3	Lihasika + kv
4	Luomumaito + kv
5	Maito + kv

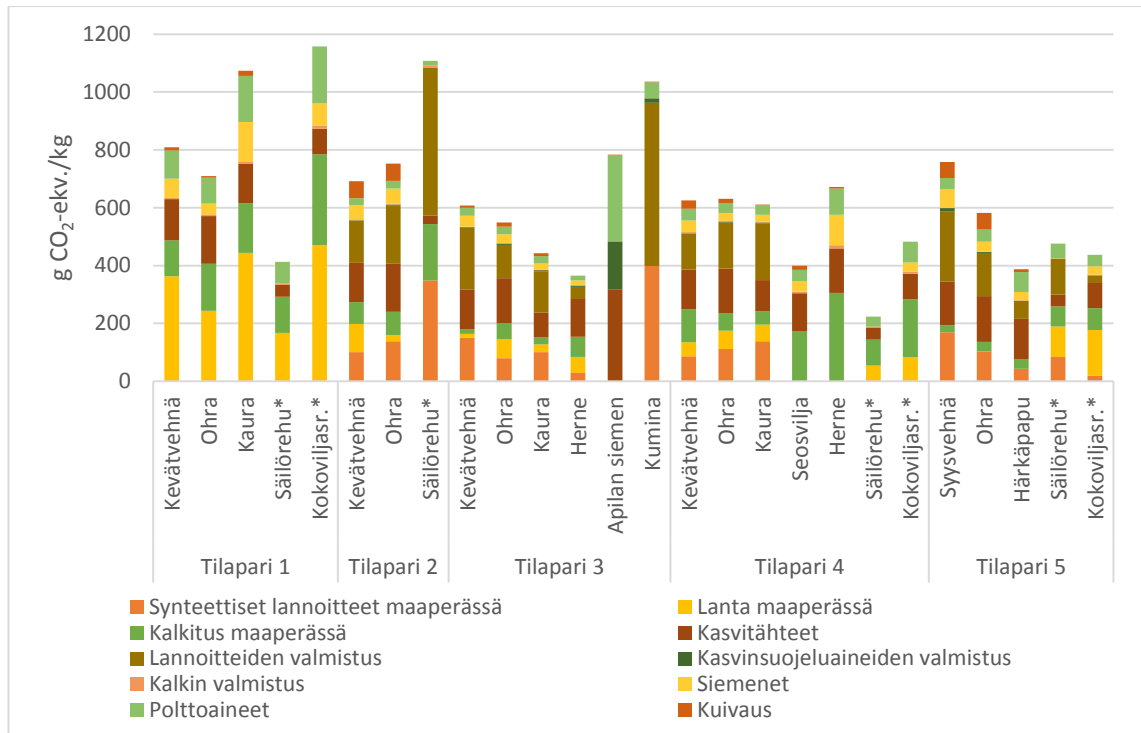
5.1 Alkutilanteen KHK-päästöt

5.1.1 Kasvintuotanto

Kasvintuotannon KHK-päästöt laskettiin jokaiselle tiloilla viljellylle kasville tuotettua kiloa kohden (kuvat 2 ja 3). KHK-päästöt eriteltiin kymmeneen eri päästölähteeseen, joista maatilojen suoria KHK-päästöjä olivat polttoaineenkulutuksen KHK-päästöt viljelytoimissa, polttoaineen- ja sähkönkulutuksen KHK-päästöt kuivauksessa sekä synteettisten lannoitteiden, lannan, kasvitähteen ja kalkin KHK-päästöt maaperässä. Epäsuoria KHK-päästöjä olivat lannoitteiden, kasvinsuojeluaineiden sekä kalkin valmistuksen KHK-päästöt. Lisäksi huomioitiin siementen viljelyn aiheuttamat KHK-päästöt.

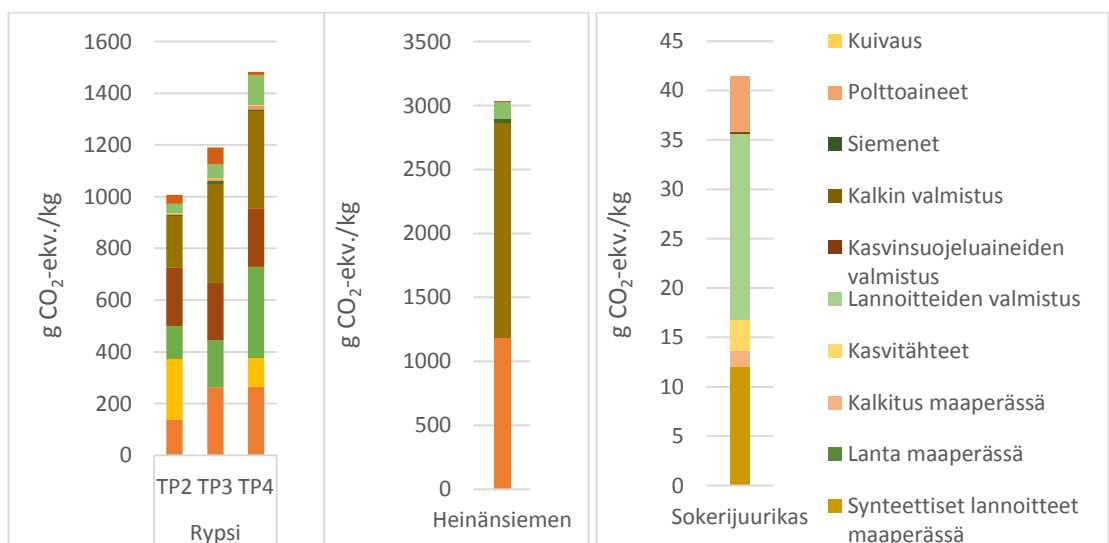
Kasvinviljelyn suurimmat KHK-päästölähteet vaihtelivat tilaparien sisällä ja välillä. Viljelymenetelmien, tilojen ja kasvilajien väleillä oli huomattavia eroja siinä, mitkä päästölähteet olivat merkittävimpiä. Tuloksista kuitenkin erottui joitakin päästölähteitä, jotka olivat useasti suurimpien päästölähteiden joukossa. Synteettisten lannoitteiden valmistuksen KHK-päästöt sekä lannoitteiden, lannan ja kalkituksen KHK-päästöt maaperässä olivat hyvin merkittäviä päästölähteitä (kuva 4). Kasvitähteet olivat usealla kasvilla suurin KHK-päästöjen aiheuttaja ja lähes kaikilla kasveilla kolmen suurimman KHK-päästölähteen joukossa. Kalkitus ja polttoaineiden käyttö aiheuttivat myös monella kasvilla merkittäviä KHK-päästöjä. Kalkin ja kasvinsuojeluaineiden valmistuksen KHK-päästöt olivat hyvin marginaalisia päästölähteitä kaikilla kasveilla. Poikkeuksena

oli apilan siemen, jolla kasvinsuojeluaineiden valmistus aiheutti 21 % kokonaispäästöistä (kuva 2).

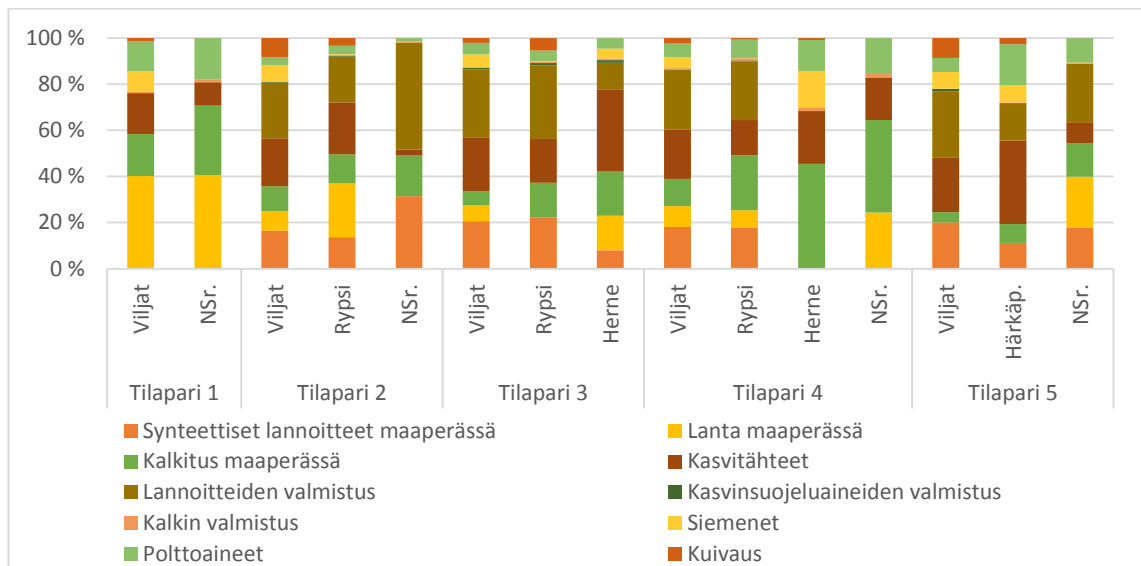


*) KHK-päästöt laskettu kuiva-ainesatoa kohden (g CO₂-equiv./kg ka)

Kuva 2. Viljelykasvien KHK-kaasupäästöt varastointikosteudessa olevaa tuotekiloa kohden alkutilanteessa. Tilapari 1: Lihanauta (luomupelto) + luomu kv. Tilapari 2: Lihasika + kv yhdistelmätila. Tilapari 3: Lihasika + kv. Tilapari 4: Luomumaito + kv. Tilapari 5: Maito + kv.



Kuva 3. Rypsin KHK-kaasupäästöt tuotekiloa kohden alkutilanteessa tilapareilla 2, 3 ja 4, heinänsiemenen tilaparilla 3 ja sokerijuurikkaan tilaparilla 5.



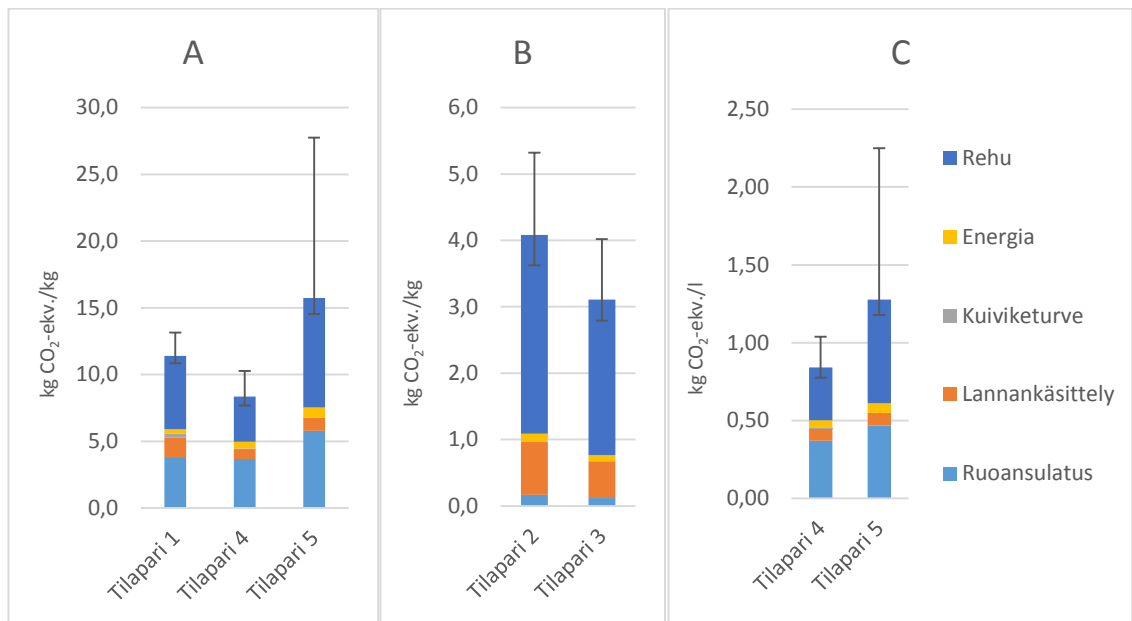
Kuva 4. Viljojen, rypsin, palkokasvien ja nurmisäilörehun (NSr.) päästölähteiden keskimääräinen prosentuaalinen osuus kokonaispäästöistä.

5.1.2 Eläintuotanto

Eläintuotannon KHK-päästöt laskettiin tiloille tuotettua liha- ja maitokiloa kohden. KHK-päästöt eriteltiin viiteen eri päästölähteeseen, joista eläintuotannon suoria KHK-päästöjä olivat ruoansulatuksen, lannankäsittelyn ja energian KHK-päästöt. Epäsuoria KHK-päästöjä olivat puolestaan rehun ja kuiviketurpeen KHK-päästöt. Tilojen kokonaispäästöjä tarkasteltaessa tiloilla itse tuotettujen rehujen KHK-päästöt kohdennettiin kokonaan eläintuotteille.

Naudanlihaa tuotettiin kolmella eri tilaparilla. Tilapari 1 oli kokonaan keskittynyt naudanlihantuotantoon. Tilaparit 4 ja 5 olivat maitotiloja, joista tilaparilla 5 sonnit kasvatettiin itse teurasikään. Naudanlihan- ja maidontuotannossa suurimmat KHK-päästöt aiheutuivat rehusta ja eläinten ruoansulatuksesta (kuva 5).

Sianlihaa tuotettiin tilapareilla 2 ja 3. Sianlihantuotannon ylivoimaisesti suurimmat KHK-päästöt aiheutuivat ruokinnasta, mutta lannankäsittelyn KHK-päästöt olivat myös merkittävät (kuva 5).



Kuva 5. Naudanlihan- (A), sianlihan- (B) ja maidontuotannon (C) päästöt alkutilanteessa teuraspainonlisäystä ja maitokiloa kohden. Hajontapalkit kuvaavat laskurin laskentaparametrien epävarmuusväliä rehun osalta.

5.2 Yhteistyömallien KHK-päästöt

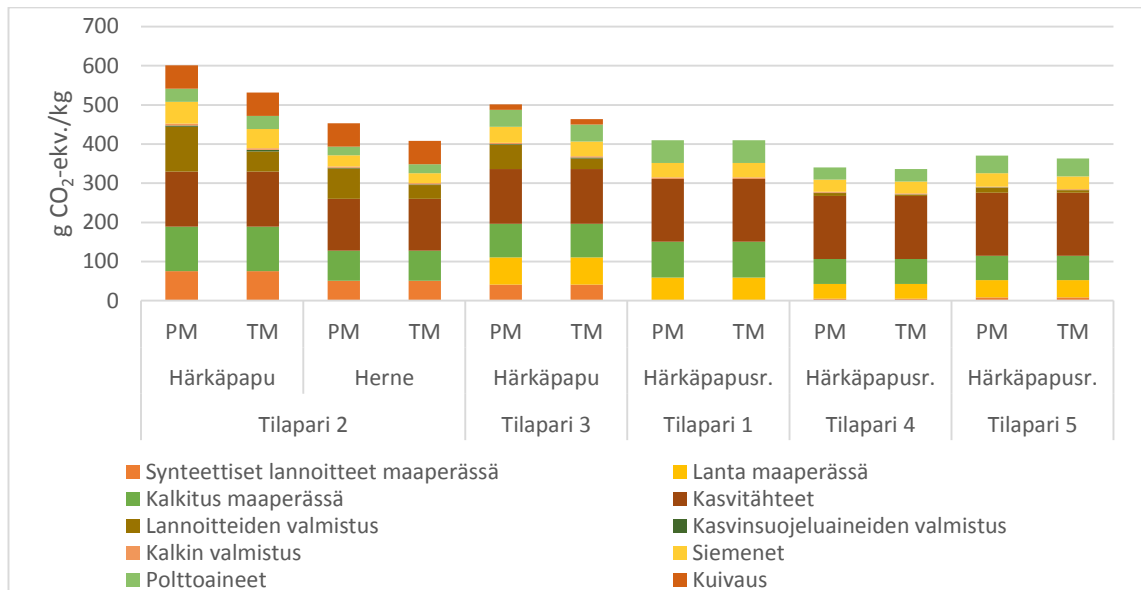
5.2.1 Kasvintuotanto

Tiloilla alkutilanteessa sekä yhteistyömallitilanteissa viljeltäville kasveille laskettiin KHK-päästöjen suhteellinen muutos verrattuna alkutilanteeseen. Joidenkin kasvien KHK-päästöjen muutoksia ei voitu laskea, koska tilojen kasvilajistossa tapahtui muutoksia alkutilanteen ja mallien välillä. Etenkin herneen, härkäpavun ja härkäpapusäilörehun KHK-päästöjen muutoksia ei voitu vertailla, koska nämä kasvit tuotiin malleissa suurimmalle osalle tiloista uusina kasveina. Poikkeuksena olivat tilaparit kolme ja viisi, joista toisella viljeltiin hernettä ja toisella härkäpapua jo alkutilanteessa. Herneelle, härkäpavulle ja härkäpapusäilörehulle laskettiin kuitenkin KHK-päästöt perus- ja typpimallissa (kuva 6).

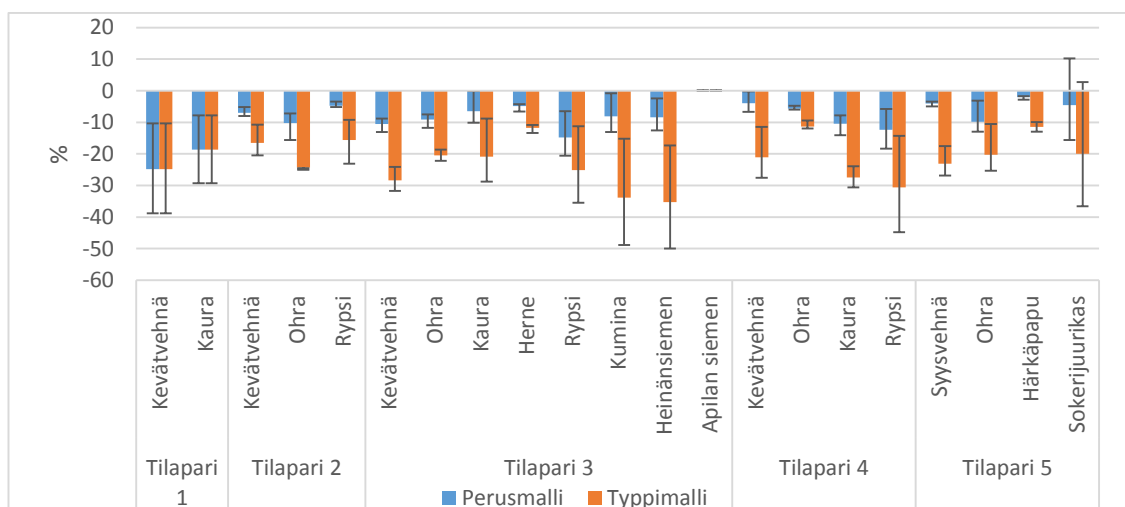
Kasvintuotannon KHK-päästöt vähenivät lähes kaikilla kasveilla perus- ja typpimallissa alkutilanteeseen verrattuna. Typpimallissa KHK-päästöt vähenivät enemmän kuin perusmallissa. Tilaparilla 1 eroja perusmallin ja typpimallin välillä ei ollut, koska tilaparin tiloilla ei käytetty synteettisiä lannoitteita. Kaikilla myyntiin viljellyillä kasveilla KHK-

päästöt pienenivät molemmissa malleissa, paitsi tilaparilla 3 apilan siemenen KHK-päästöt pysyivät muuttumattomina (kuva 7).

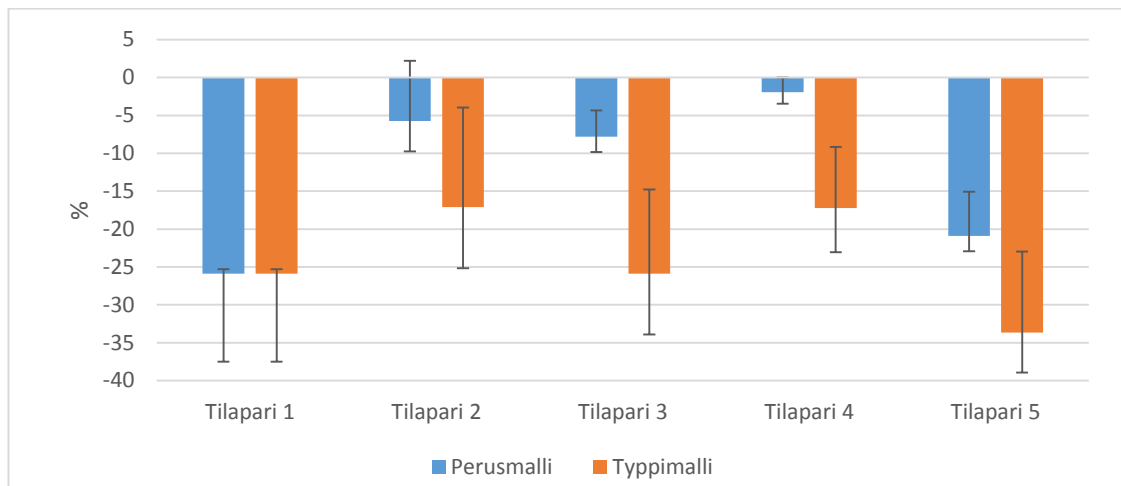
Kun tarkastellaan tilojen myyntiin tuotetun kokonaiskasvisadon KHK-päästöjä tuotettua satokiloa kohden, kaikissa muissa paitsi yhdessä mallissa kasvintuotannon KHK-päästöt laskivat alkutilanteeseen verrattuna. Tilaparilla 4 perusmallin kasvintuotannon KHK-päästöt nousivat 3 % verrattuna alkutilanteeseen (kuva 8). Keskimäärin vähennys KHK-päästöissä oli perusmallin 11 %:sta typpimallin 23 %:iin.



Kuva 6. Tiloilta malleissa viljelyyn otettujen uusien kasvien KHK-päästöt perusmallissa (PM) ja typpimallissa (TM).

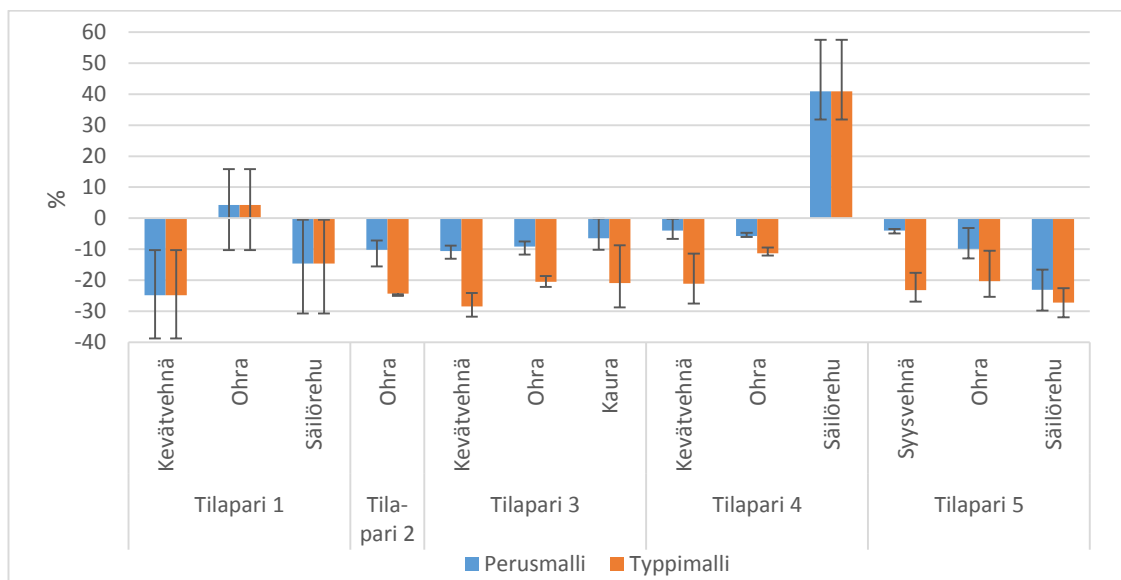


Kuva 7. Myytävien kasvien KHK-päästöjen muutos tuotekiloa kohden verrattuna alkutilanteeseen. Hajontapalkit kuvaavat laskurin laskentaparametrien epävarmuusvälin aiheuttamaa vaihtelua.



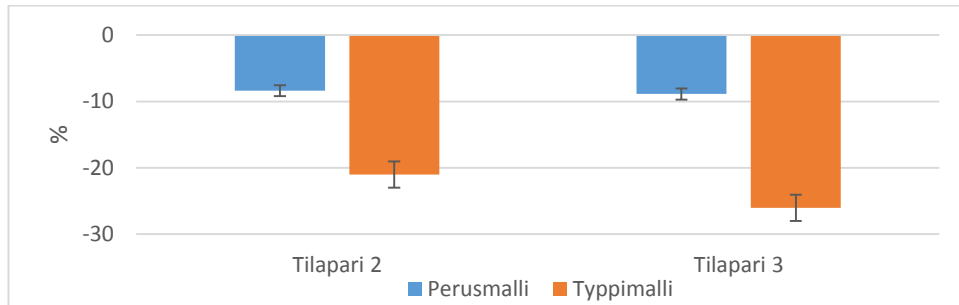
Kuva 8. Tilaparien ulkopuolelle myydyin kasvintuotannon kokonaissadon KHK-päästöjen muutos verrattuna alkutilanteeseen. Hajontapalkit kuvaavat laskurin laskentaparametrien epävarmuusvälin aiheuttamaa vaihtelua.

Rehuksi viljellyillä kasveilla KHK-päästöt pienenevät kahta kasvia lukuun ottamatta. Poikkeuksena KHK-päästövähennyksiin olivat tilaparin 1 ohran ja tilaparin 4 nurmisäilörehun KHK-päästöt. Tilaparilla 1 ohran KHK-päästöt eivät juuri muuttuneet, mutta tilaparin 4 nurmisäilörehun KHK-päästöt kasvoivat jopa 41 % molemmissa malleissa (kuva 9).



Kuva 9. Rehuksi tuotettujen kasvien KHK-päästöjen muutos tuotekiloa kohden verrattuna alkutilanteeseen. Hajontapalkit kuvaavat laskurin laskentaparametrien epävarmuusvälin aiheuttamaa vaihtelua.

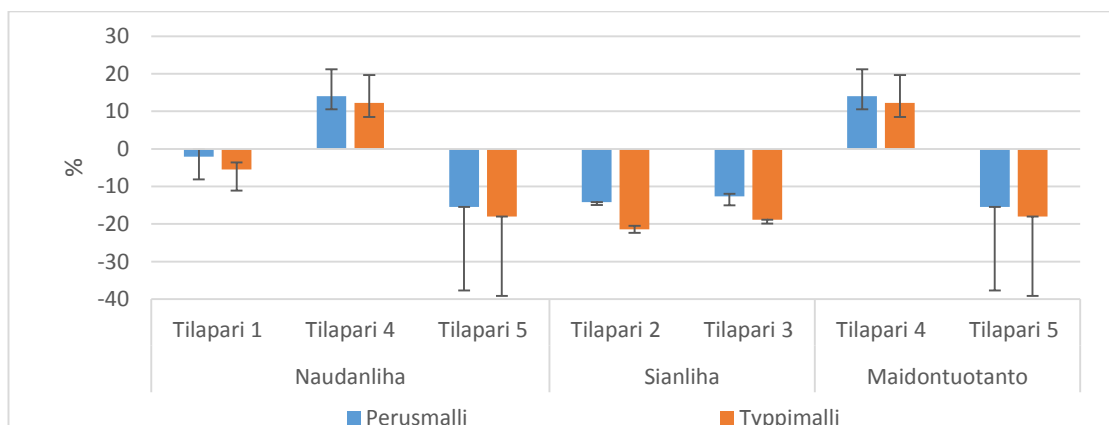
Sikatiiloilla ruokinnassa merkittävässä osassa olivat viljaperäiset rehut. Tilaparilla 2 kasvatettiin vehnää ja ohraa sekä tilaparilla 3 vehnää, ohraa ja kauraa. Näillä tiloilla kokonaisviljantuotannon KHK-päästöissä havaittiin selvää laskua molemmissa malleissa (kuva 10).



Kuva 10. Sikatilapareilla tuotetun viljan tuotekiloa kohden laskettujen KHK-päästöjen muutos. Hajontapalkit kuvaavat eri viljojen KHK-päästömuutosten keskihajontaa.

5.2.2 Eläintuotanto

Tilaparien yhteistyömallien eläintuotannon KHK-päästöjä verrattiin alkutilanteeseen. Sianlihantuotannossa KHK-päästöt vähenivät molemmilla malleilla, kuitenkin typpimallilla enemmän kuin perusmallilla. Nautatiloilla mallit aiheuttivat päästövähennyksiä kahdella tilaparilla kolmesta, eivätkä erot mallien välillä olleet merkittäviä. Tilaparilla 4 naudanlihan- ja maidontuotannon KHK-päästöt lisääntyivät molemmissa malleissa (kuva 11). Keskimäärin nautatiloilla ei havaittu merkittävää muutosta KHK-päästöissä. Sikatiloilla päästövähennys oli keskimäärin perusmallin 13 %:sta typpimallin 20 %:iin.



Kuva 11. Lihan- ja maidontuotannon KHK-päästöjen muutos verrattuna alkutilanteeseen. Hajontapalkit kuvaavat laskurin laskentaparametrien epävarmuusväliä rehun osalta.

6 TULOSTEN TARKASTELU

6.1 Alkutilanteen KHK-päästöt

6.1.1 Kasvintuotanto

Tilojen kasvintuotannon alkutilanteen KHK-päästöjä verrattiin aiempien tutkimusten tuloksiin ja havaittiin, että viljojen, rypsin, nurmisäilörehun ja palkokasvien KHK-päästöt tuotekiloa kohden laskettuna vastasivat hyvin aikaisempien tutkimuksien tuloksia (taulukko 16). Hajonta kasvien KHK-päästöissä eri tutkimusten väleillä oli suurta, mitä selittänevät erilaiset laskentamenetelmät, systeemien rajaus, maantieteelliset erot KHK-päästöissä sekä laskelmien erilaiset satotasot. Tässä tutkimuksessa lasketut KHK-päästöarvot olivat kuitenkin poikkeuksetta kirjallisuudesta löytyneiden arvojen välissä, joten tutkimuksessa käytettyä laskentamenetelmää pidettiin onnistuneena.

Taulukko 16. Viljan, rypsin, nurmisäilörehun (NSr.) sekä palkokasvien KHK-päästöt (g CO₂-ekv./kg) alkutilanteessa tässä tutkimuksessa sekä vertailu kirjallisuusarvoihin.

	Tämä tutki- mus	Flysjö ym. (2008)	Rajaniemi ym. (2011)	Williams ym. (2006)	Ha ym. (2015)	van der Werf ym. (2005)	Roer ym. (2012)	Hakala ym. (2012)
Vilja	443–1074	370–465	540–870	710–804	250– 2610	360–400	740– 790	
Rypsi	1007–1482	800		1710				
NSr.	224–476	365						65–471
Palkok.	366–672	210–240		1010		560		
<i>Alue</i>	<i>Suomi</i>	<i>Ruotsi</i>	<i>Suomi</i>	<i>Englanti</i>	<i>Kiina</i>	<i>Ranska</i>	<i>Norja</i>	<i>Suomi</i>

Tutkimuksessa analysoitiin myös kasvintuotannon tärkeimpiä KHK-päästölähteitä. Maaperän N₂O-päästöt olivat merkittävin KHK-päästölähde tutkittavien tilojen kasvintuotannossa. Tutkimuksessa maaperän N₂O-päästöt jaettiin synteettisten lannoitteiden, lannan ja kasvitähteen N₂O-päästöihin maaperässä, mutta niitä verrattiin muihin tutkimuksiin yhteenlaskettuna. Muita merkittäviä KHK-päästölähteitä kasvintuotannossa olivat kalkki maaperässä, lannoitteiden valmistus ja polttoaineiden käyttö viljelyssä. Kun

näiden KHK-päästölähteiden osuuksia kasvintuotannon kokonaispäästöistä verrattiin aiempiin tutkimuksiin, havaittiin niiden vastaavan hyvin aiempien tutkimuksien tuloksia. Lisäksi tässä tutkimuksessa tärkeimpien KHK-päästölähteiden on useassa tutkimuksessa todettu olevan kolmen merkittävimmän kasvintuotannon KHK-päästölähteen joukossa (taulukko 17).

Taulukko 17. Kasvintuotannon eri KHK-päästölähteiden merkityksen vertailu tutkimuksen ja kirjallisuuden välillä. Taulukossa on esitetty maaperän kokonaistyyppioksiduulipäästöjen (MP-N₂O), kalkituksen KHK-päästöjen maaperässä (KM), lannoitteiden valmistuksen (LV) sekä polttoaineenkulutuksen (PA) KHK-päästöjen prosentuaaliset osuudet kasvintuotannon kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä kasvilajeittain.

		Tämä tutkimus	Sinkko ym. (2010)	Ahlgren ym. (2009)	Bernesson ym. (2006)	Williams ym. (2006)	Mainittu merkittävänä ¹⁾
Viljat	MP-N ₂ O	44–58	30–35	39–44	25	74–75	(1, 3, 4)
	KM	4–18	17–21				(3)
	LV	24–29	17–20	29–31	45		(1, 3, 4)
	PA	4–13	11–14	12–18			(1)
Rypsi	MP-N ₂ O	41–59	40	46			(3)
	KM	13–24	10				(3)
	LV	20–32	24	34			(3)
	PA	4–8	13	12			
NSr.	MP-N ₂ O	34–51					(1, 5)
	KM	15–40					(2)
	LV	26–46					
	PA	2–18					(2, 5)

¹⁾ Mainittu 3 merkittävimmän KHK-päästölähteen joukossa lähteissä: (1) Flysjö ym. (2008), (2) Jyväskylän yliopisto (2013), (3) Mäkinen ym. (2006), (4) Roer ym. (2012) ja (5) Tuomisto ja Helenius (2008)

6.1.2 Eläintuotanto

Tiloille laskettuja eläintuotannon KHK-päästöjä vertailtiin aikaisempien tutkimusten tuloksiin ja havaittiin, että sianlihan- ja maidontuotannon KHK-päästöt vastasivat hyvin aikaisempia tuloksia (taulukko 18). Jopa luonnonmukaisesti ja tavanomaisesti tuotetun

maidon KHK-päästöissä havaittu ero (luomu 0,84 kg CO₂-ekv./l vs. tavanomainen 1,28 kg CO₂-ekv./l) oli samansuuntainen joskin suurempi kuin ruotsalaisessa tutkimuksessa aiemmin havaittu. Aiemmassa tutkimuksessa luomumaidon KHK-päästöt olivat 0,95 kg CO₂-ekv./l ja tavanomaisen maidon 1,08 kg CO₂-ekv./l (Cederberg ja Mattsson 2000).

Naudanlihantuotannon KHK-päästöt eivät täysin vastanneet aikaisempia havaintoja, vaan olivat tässä tutkimuksessa jonkin verran alhaisempia kuin aikaisemmin on todettu (taulukko 18). Syytä havaittuun eroon ei pystytty täysin selvittämään, mutta osittain eroa selittänevät erilaiset laskentamenetelmät ja systeemien raja-
aus.

Taulukko 18. Naudan- ja sianlihan (kg CO₂-ekv./kg) sekä maidon (kg CO₂-ekv./l) KHK-päästöt alkutilanteessa tässä tutkimuksessa sekä vertailu kirjallisuusarvoihin.

	Tämä tutki- mus	Williams ym. (2006)	Casey ja Holden (2005)	Gerber ym (2010)	Ceder- berg ja Mattsson (2000)	Basset-Mens ja van der Werf (2005)	Ceder- berg ja Stadig (2003)	Sasu- Boakye ym. (2014)
Nauta	8,3–15,7	15,8		15,6– 20,2			22,3	
Sika	3,1–4,1	6,35				2,3–3,97		2,0– 2,22
Maito	0,84– 1,28	1,06	0,98– 1,31	1,5	0,95–1,08		1,05	0,63– 0,74
<i>Alue</i>	<i>Suomi</i>	<i>Englanti</i>	<i>Irlanti</i>	<i>L-Eur.</i>	<i>Ruotsi</i>	<i>Ranska</i>	<i>Ruotsi</i>	<i>Ruotsi</i>

Tutkimuksessa naudanlihan- ja maidontuotannossa suurimpien KHK-päästölähteiden havaittiin olevan eläinten ruoansulatus ja rehuntuotanto. Sianlihantuotannossa puolestaan rehuntuotannon KHK-päästöt vastasivat valtaosasta tuotannon KHK-päästöistä, ja toiseksi merkittävimpana KHK-päästölähteenä olivat lannankäsittelyn KHK-päästöt. Aikaisemmissakin tutkimuksissa on tehty hyvin samansuuntaisia havaintoja eläintuotannon KHK-päästöjen muodostumisesta, kuten taulukossa 19 on esitetty.

Taulukko 19. Eläintuotannon eri päästölähteiden merkityksen vertailu tutkimuksen ja kirjallisuuden välillä. Taulukossa on esitetty ruoansulatuksen (RS), lannankäsittelyn (LK), energian (E) ja rehun (R) KHK-päästöjen prosentuaaliset osuudet eläintuotannon kokonaiskasvihuonekaasupäästöistä.

		Tämä tutkimus	Williams ym. (2006)	Casey ja Holden (2005)	Basset-Mens ja van der Werf (2005)	Sasu-Boakye ym. (2014)	Lesschen ym. (2011)
Nauta	RS	34–44	46 ¹⁾				
	LK	6–13	6				
	E	1–6					
	R	40–52	48				
Sika	RS	4				8–9	
	LK	18–20				26–33	
	E	3					
	R	73–74			73	58–66	
Maito	RS	37–44		49		50–54	25
	LK	6–9		11		14	9
	E	5–6		5			6
	R	40–52		35		32–36	60

¹⁾Sisältää naudantuotannon kaikki muut KHK-päästöt paitsi lannankäsittelyn ja rehun.

6.2 Yhteistyömallien vaikutukset tilojen KHK-päästöihin

Simuloiduissa yhteistyömalleissa tilojen toimintaa muutettiin erityisesti kasvintuotannon osalta alkutilanteeseen verrattuna. Viljeltäviä kasveja, lannoitusta sekä lannan käyttöä muutettiin ja aluskasveja otettiin viljelyyn. Eläintuotannossa muutokset tilojen toiminnassa rajoittuivat eläinten ruokintaan, muuten tuotanto pidettiin mallien välillä muuttumattomana. Toteutettujen muutosten havaittiin vaikuttavan tilojen KHK-päästöihin sekä kasvin- että eläintuotannossa.

6.2.1 Kasvintuotanto

Tilaparien kasvintuotannon KHK-päästöt vähenivät lähes kaikilla tilapareilla ja molemmissa yhteistyömalleissa alkutilanteeseen verrattuna. Synteettisten typpilannoitteiden käytön vähentäminen ja lannan käytön muutokset yhteistyötilanteissa olivat suurimmat

syöttö kasvintuotannon KHK-päästöjen laskuun. Perus- ja typpimallissa synteettisten typpilannoitteiden käyttöä vähennettiin ja lannankäyttöä tehostettiin, mikä johti pienempiin N_2O -päästöihin maaperästä. Synteettisten typpilannoitteiden käytön tarkentamisen ja vähentämisen onkin todettu olevan potentiaalinen keino vähentää maatalouden KHK-päästöjä, kunhan se ei vaaranna peltojen tuottavuutta (Pipatti ym. 2000, Regina ym. 2014, Smith ym. 2008). Ha ym. (2015) esimerkiksi havaitsivat tutkimuksessaan, että vehnän viljelyn KHK-päästöjä voitiin vähentää 19–37 % vähentämällä typpilannoitusta. Williams ym. (2006) havaitsivat kuitenkin vehnäntuotannon KHK-päästöjen kasvavan yli 8 % sadon laskun myötä, jos typpilannoitus laskettiin 75 %:iin alkuperäisestä. Lisäksi Rajaniemi ym. (2011) ovat havainneet viljan KHK-päästöjen kasvavan 16 %, jos sato laskee 20 %. He myös toisaalta havaitsivat KHK-päästöjen vähenevän 23 %, jos sato nousee 20 %. Typpilannoitusta ei siis kannata vähentää peltojen tuottavuuden kustannuksella, jos KHK-päästöjä halutaan vähentää.

Toisaalta typpilannoitteiden korvaajana yhteistyömalleissa käytettyjen typensitojakasvien aiheuttamaa N_2O -päästövaikutusta ei pystytty laskelmissa täysin arvioimaan, koska käytetty laskentamenetelmä ei ottanut typensitojakasvien sitoman typen N_2O -päästöjä huomioon. Lisäksi typensitojakasvien N_2O -päästöihin sisältyy muutenkin suurta epävarmuutta (IPCC 2006), eikä näin ollen typpilannoitteiden käytön muutosten kokonaisvaikutusta N_2O -päästöihin voitu täysin arvioida.

Synteettisten typpilannoitteiden käytön vähentäminen perus- ja typpimallissa vaikutti kuitenkin merkittävästi lannoitteiden valmistuksen epäsuorien KHK-päästöjen vähene-miseen alkutilanteeseen verrattuna. Typpimalli erosi perusmallista pelkästään lannoitteiden valmistuksen KHK-päästöissä, jotka typpimallissa olivat alhaisemmat kuin alkutilanteessa ja perusmallissa. Typpimallissa kasvintuotannon KHK-päästöt vähenivätkin vielä enemmän kuin perusmallissa alkutilanteeseen verrattuna lannoitteiden valmistuksen alhaisempien KHK-päästöjen takia. Typpilannoitteiden valmistuksessa käytetyn teknologian onkin todettu vaikuttuvan merkittävästi typpilannoitteiden KHK-päästöihin (Snyder ym. 2009, Yara 2014).

Tarkasteltaessa tiloilta myytävän sadon KHK-päästöjä havaittiin, että yhtä kasvia lukuun ottamatta kaikkien kasvien KHK-päästöt vähenivät molemmissa malleissa alkutilanteeseen verrattuna. Apilan siementuotantoon ei kuitenkaan tehty muutoksia mallien välillä, joten se selittää apilan siementuotannon KHK-päästöjen muuttumattomuuden.

Yksittäisten kasvilajien KHK-päästöjen vähenemisistä huolimatta myytävän kokonaissadon KHK-päästöt eivät kaikilla tilaparilla pienentyneet. Tämä selittyi kasvilajien muutoksilla, kun pienempipäästöisten kasvien viljelyä vähennettiin ja suurempipäästöisten kasvien lisättiin.

Suurimmat vähennykset tilaparien ulkopuolelle myydyn kasvintuotannon kokonaiskasvihuonekaasupäästöissä havaittiin tilapareilla 1, 3 ja 5 siitäkin huolimatta, että tilaparilla 1 ei käytetty synteettisiä typpilannoitteita. Tilaparilla 1 KHK-päästöjen vähennys johtui osaltaan lannankäytön muutoksista, jolloin lannan aiheuttamat N_2O -päästöt maaperässä vähenivät. Kahdella muulla tilaparilla synteettisten typpilannoitteiden vähentäminen oli suurin syy havaittuun KHK-päästöjen laskuun. Osaltaan näiden tilaparien KHK-päästöjen lasku selittyi lisäksi kasvilajiston muutoksilla. Tilapareilla 1 ja 3 kasvatettiin myyntiin alkutilanteessa KHK-päästöjen kannalta tehottomasti viljeltyä kokoviljasäilörehua, jonka viljelyn lopettamisen myötä tilojen kasvintuotannon päästötehokkuus nousi. Tilaparilla 5 puolestaan alkutilanteessa myytäväksi viljeltyä ohraa syötettiin yhteistyömalleissa karjalle, jolloin ohran muuhun tilaparin kasvintuotantoon verrattuna korkea KHK-päästö ei kohdistunut myyntisadolle.

Tilapareilla 2 ja 4 ei puolestaan perusmallissa havaittu muutosta KHK-päästöissä myytävän kasvintuotannon osalta. Näillä tiloilla vähennykset kasvien KHK-päästöissä olivat suhteellisen pieniä, ja toisaalta pienet muutokset viljeltävässä kasvilajistoissa vähensivät yksittäisten kasvien päästötehokkuuden kasvun vaikutuksia kokonaissadon KHK-päästöihin.

Tilojen rehuntuotannossa havaitut KHK-päästövähennykset johtuivat samoista syistä kuin myyntikasvien KHK-päästövähennykset. Poikkeuksena olivat kaksi kasvia, joilla KHK-päästövähennystä ei havaittu. Tilaparilla 1 ohranviljelyn KHK-päästöissä ei havaittu muutosta, koska maaperän N_2O -päästöt vähenivät lannankäytön vähennyttyä, mutta vähentyneen typpilannoituksen aiheuttama sadonvähennys yhteistyömalleissa kumosi KHK-päästövähennykset. Tilaparilla 4 puolestaan nurmisäilörehun KHK-päästöt kasvoivat 41 % yhteistyömalleissa alkutilanteeseen verrattuna. Tämä merkittävä nousu tuotannon KHK-päästöissä selittyi alkutilanteessa nurmisäilörehusta saadulla huippusadolla, johon yhteistyömallien laskennalliset sadot eivät yltäneet.

6.2.2 Eläintuotanto

Kasvintuotannon KHK-päästöjen muutokset vastasivat myös eläintuotannon KHK-päästöjen muutoksista mallien välisessä tarkastelussa. Mallien välillä muutoksia eläintuotannossa tapahtui vain ruokinnassa, joten muutokset eläintuotannon KHK-päästöissä selittyivät ruokinnan ja rehukasvien KHK-päästöjen muutoksilla. Tutkittavilla tiloilla naudanhun- ja maidontuotannossa rehujen osuus tuotannon kokonaispäästöistä oli 40–52 % ja sianlihantuotannossa 73–75 % alkutilanteessa. Rehujen KHK-päästöt olivatkin selvästi suurin KHK-päästölähde tutkittavien tilojen eläintuotannossa.

Nautatiloilla eläintuotannon KHK-päästöjen muutokset olivat riippuvaisia merkittävimpien rehukasvien KHK-päästöjen ja käytön muutoksista. Tilaparilla 1 ei juuri havaittu muutoksia eläintuotannon KHK-päästöissä. Tilaparilla ruokinnassa merkittävästi käytetyn nurmisäilörehun KHK-päästöt vähenivät molemmissa malleissa 15 %, mutta tämä päästövähennys korvaantui osittain ruokintaan käytetyt ohran KHK-päästöjen kasvaessa 5 %. Lisäksi molemmissa malleissa KHK-päästöjen vähennystä supisti nurmisäilörehun korvaaminen ruokintaan uutena kasvina otetulla härkäpapusäilörehulla, jonka KHK-päästöt olivat samalla tasolla kuin nurmisäilörehun alkutilanteen KHK-päästöt. Ruokinnan muutosten yhteisvaikutuksesta tilaparilla 1 ei saavutettu merkittäviä hyötyjä KHK-päästöjen kannalta.

Tilaparilla 4 eläintuotannon KHK-päästöt puolestaan kasvoivat yli 10 %. Tilaparilla tärkeimpänä rehuna käytetyn nurmisäilörehun KHK-päästöt kasvoivat molemmissa malleissa 41 %. Lisäksi nurmisäilörehua korvattiin härkäpapusäilörehulla, jonka KHK-päästöt olivat yli 50 % suuremmat kuin alkutilanteessa nurmisäilörehulla. Nämä rehujen KHK-päästöissä sekä ruokinnassa tapahtuneet muutokset selittävätkin tilaparin kasvintuotannon kohonneet KHK-päästöt.

Ainoat eläintuotannon KHK-päästövähennykset nautatiloilla havaittiin tilaparilla 5. Tilaparilla nurmisäilörehun KHK-päästöt laskivat 23 % perusmallissa ja 27 % tyypimallissa. Lisäksi nurmisäilörehua korvattiin härkäpapusäilörehulla, jonka KHK-päästöt olivat perusmallissa 22 % ja tyypimallissa 24 % pienemmät kuin nurmisäilörehun KHK-päästöt alkutilanteessa. Nämä merkittävimpien rehukasvien KHK-päästövähennykset näkyivät tilaparin eläintuotannon KHK-päästöjen laskuna.

Sikatiiloilla mallien aiheuttamat KHK-päästöjen muutokset olivat selkeämmät kuin nau-
tatiiloilla sekä hyvin samanlaiset molemmilla sikatilapareilla. Yhteistyömallit vähensivät
selvästi sianlihantuotannon KHK-päästöjä alkutilanteeseen verrattuna. Sikatilojen ruo-
kinta perustui pääasiassa viljaperäisiin rehuihin, joka selittääkin havaitun trendin KHK-
päästöissä. Viljojen KHK-päästöt vähenivät yhteistyömalleissa tasaisesti kaikilla tutki-
mukseen osallistuneilla tiloilla ja erityisen suuria vähennykset olivat typpimallissa. Si-
katilapareilla viljanviljelyn KHK-päästöt vähenivät perusmallissa 8–9 % ja typpimal-
lissa 21–26 %. Nämä muutokset viljanviljelyn KHK-päästöissä näkyivätkin suoraan si-
anlihantuotannon KHK-päästövähennyksenä. Muutos KHK-päästöissä ei ollut kuiten-
kaan yhtä suuri, koska kaikkea sikatilapareilla viljeltyä viljaa ei käytetty rehuina ja eri
viljoilla muutokset KHK-päästöissä olivat erilaisia.

Osittain sianlihantuotannon KHK-päästömuutokset selittyivät lisäksi ruokintaan lisä-
tyllä härkäpavulla ja herneellä, joiden KHK-päästöt olivat alkutilanteessa ruokintaan
käytettyjä viljoja pienemmät. Härkäpavun KHK-päästöt olivat perusmallissa 8–13 % ja
herneen 34–36 % pienemmät kuin alkutilanteessa rehuiksi käytettyjen viljojen KHK-
päästöt. Typpimallissa ero oli vielä suurempi, härkäpavulla 14–23 % ja herneellä 41 %.
Muutokset sianlihantuotannon KHK-päästöissä selittyivätkin viljojen KHK-päästöjen
vähentymisellä sekä ruokinnan muutoksilla.

Havaitun kaltaisia rehujen KHK-päästöjen ja ruokinnan muutosten aiheuttamia muutok-
sia eläintuotannon KHK-päästöissä on havaittu myös aiemmin. Casey ja Holden (2005)
havaittivat, että rehutiivisteiden vähentäminen nautojen ruokinnassa 30 %:lla vähentää
eläintuotannon KHK-päästöjä 4 %. He myös totesivat, että suuripäästöisten rehukasvien
korvaaminen vähäpäästöisimmillä, mutta saman ravintoarvon omaavilla kasveilla, voi
vähentää KHK-päästöjä huomattavasti.

Tässä tutkimuksessa ei otettu huomioon ruokinnan muutosten vaikutuksia eläinten suo-
riin KHK-päästöihin. Eläinten suorat KHK-päästöt voivat muuttua paljonkin ruokinnan
muutosten takia, kuten Pipatti ym. (2000) ja Eckard ym. (2010) ovat aikaisemmin to-
denneet. Tässä tutkimuksessa lisättiin esimerkiksi palkokasvien käyttöä eläinten rehuna
ja Beauchemin ym. (2008) mukaan palkokasvirehut ruokinnassa voivat vähentää eläin-
ten ruoansulatuksen KHK-päästöjä. Ruokinnan muutosten vaikutuksia eläintuotannon
KHK-päästöihin ei tällöin voitu kokonaisuudessaan tässä tutkimuksessa analysoida.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimuksessa käytettyjen yhteistyömallien mukainen tilojen välinen yhteistyö voi vähentää kasvin- sekä eläintuotannon KHK-kaasupäästöjä. Kasvintuotannon KHK-päästöissä suurimmat vähennykset havaittiin synteettisten lannoitteiden sekä lannan KHK-päästöjen vähentyessä. Lisäksi lannoitteiden valmistusmenetelmällä oli suuri vaikutus tilojen kasvintuotannon KHK-päästöihin. Käyttämällä parhaalla saatavissa olevalla teknologialla tuotettuja synteettisiä typpilannoitteita tilojen KHK-päästöjä voitiin vähentää huomattavasti. Kasvikohtaisista KHK-päästövähennyksistä huolimatta kaikilla tiloilla ei havaittu tilan kokonaiskasvintuotannon KHK-päästöjä tarkasteltaessa vähennystä KHK-päästöissä. Kasvivalinnat voivatkin kumota yksittäisten kasvien KHK-päästövähennykset, jos pienempipäästöisiä kasveja korvataan suurempipäästöisillä.

Tutkimuksessa havaitut vähennykset kasvintuotannon KHK-päästöissä heijastuivat myös eläintuotannon KHK-päästöihin. Rehuntuotannon KHK-päästöjen laskiessa myös eläintuotannon KHK-päästöt laskivat, vaikkeivat kasvintuotannon KHK-päästöjen muutokset näkyneetkään suoraan sellaisenaan eläintuotannossa. Tutkimuksessa havaittiin, että ruokinnan muutokset vaikuttavat myös merkittävästi eläintuotannon KHK-päästöihin. Havaitut muutokset eläintuotannon KHK-päästöissä aiheutuivatkin kasvintuotannon KHK-päästöjen ja ruokinnanmuutosten yhteisvaikutuksesta. Ruokintaa suunniteltaessa ilmastoystävälliseksi onkin otettava huomioon eri rehukasvien tuotannon KHK-päästötasot, ettei päästötehokkaita rehukasveja korvata suurempipäästöisillä rehukasveilla.

Sikatilojen havaittiin selvästi hyötyvän tutkimuksen yhteistyömallien mukaisesta tilojen välisestä yhteistyöstä. Nautatiloille tutkimuksen kaltaisesta tilojen välisestä yhteistyöstä ei juuri havaittu olevan hyötyä kasvintuotannon KHK-päästöjen ja ruokinnanmuutosten yhteisvaikutusten takia. Kuitenkin, jos havaitut yhteisvaikutukset otetaan yhteistyön suunnittelussa huomioon, voivat nautatilatkin mahdollisesti hyötyä tutkimuksen yhteistyömalleista.

Tutkimuksen tuloksia hyödynnettäessä on kuitenkin muistettava, että käytetty laskentamenetelmä on hyvin herkkä tuotantomäärien virhearvioinneille, kuten kasvintuotannon satotasojen muutoksille. Tutkimuksessa yhteistyömalleissa käytettiin arvioituja satoja

kasveille, jonka takia tuloksiin sisältyy epävarmuutta. Lisäksi käytettyihin laskentamenetelmiin ja -parametreihin sisältyy paljon epävarmuustekijöitä, jotka lisäävät osaltaan tulosten epävarmuutta. Epävarmuustekijöistä huolimatta tutkimuksen tulokset vastasivat hyvin aikaisempien tutkimusten tuloksia, joten tulokset ovat hyvin rohkaisevia ja tilojen yhteistyön sekä vähennetyn typpilannoituksen vaikutuksia maatalouden KHK-päästöihin onkin syytä tutkia lisää. Lisäksi käytettyjen tilayhteistyömallien vaikutuksia tilojen tuotantoon olisi hyvä tutkia käytännössä.

8 KIITOKSET

Haluan kiittää erityisesti Vesa Luukkosta datan keruusta ja käsittelystä sekä korvaamattomasta avusta koko tutkimusprosessin aikana. Kiitokset kuuluvat myös Mervi Seppä-selle työn ohjauksesta ja Hannu Mikkolalle kaikesta avusta ja tuesta.

Haluan kiittää myös Mirka Valoa työn kommentoinnista ja tuesta kirjoittamisen aikana sekä Tanja Wägaria työn kommentoinnista.

LÄHTEET

- Adom, F., Maes, A., Workman, C., Clayton-Niederman, Z., Thoma, G. & Shonnard, D. 2012. Regional carbon footprint analysis of dairy feeds for milk production in the USA. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 17 (5): 520-534.
- Agrimarket 2015. Härkäpapu – KontuBOR, Kasvuohjelma. http://www.agrimarket.fi/Maatalous_ja_Elaimet/Kasvuohjelmat/Valkuaiskasvit/?iLaID=1000002. Hyvinkää: Hankkija Oy. Viitattu 27.3.2015.
- Ahlgren, S., Hansson, P.-A., Kimming, M., Aronsson, P. & Lundkvist, H. 2009. Greenhouse gas emissions from cultivation of agricultural crops for biofuels and production of biogas from manure. Raportti. Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala. 52 s.
- Ahokas, J. 2011. Maatalous ja energia. <http://www.energia-akatemia.fi/attachments/article/49/EnergiaJaMaatalous.pdf>. Energia akatemia. Päivitetty 26.10.2011, tulostettu 26.3.2015.
- Alakangas, E., Hölttä, P., Juntunen, M. & Vesisenaho, T. 2011. Energiaturpeen tuotantotekniikka. Jyväskylän ammattikorkeakoulun julkaisuja 120. Tampere: Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print. 103 s.
- Amon, B., Kryvoruchko, V., Amon, T. & Zechmeister-Boltenstern, S. 2006. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112: 153-162.
- Baede, A. P., Ahlonsou, M., E., Ding, Y., & Schimel, D. 2001: The climate system: An overview. Teoksessa: Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noquer, M., van der Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K. and Johnson, C. A. (toim.). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA.
- Basset-Mens, C. & van der Werf, H. M. G. 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 105: 127-144.
- Beauchemin, K., Kreuzer, M., O'mara, F. & McAllister, T. 2008. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Animal Production Science* 48: 21-27.

- Bernesson, S., Nilsson, D. & Hansson, P. 2006. A limited LCA comparing large- and small-scale production of ethanol for heavy engines under Swedish conditions. *Bio-mass and Bioenergy* 30: 46-57.
- Carlsberg 2005. Environmental Report 2003 and 2004. <http://www.carlsberg-group.com/csr/Documents/Environmental%20report%202001-2008/Environmentalreport2003-2004.pdf>. Carlsberg Breweries A/S. Tulostettu 26.3.2015.
- Casey, J. W. & Holden, N. M. 2005. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. *Agricultural Systems* 86: 97-114.
- Cederberg, C. & Mattsson, B. 2000. Life cycle assessment of milk production – a comparison of conventional and organic farming. *Journal of Cleaner Production* 8: 49-60.
- Cederberg, C. & Stadig, M. 2003. System expansion and allocation in life cycle assessment of milk and beef production. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 8: 350-356.
- Clemens, J., Trimborn, M., Weiland, P. & Amon, B. 2006. Mitigation of greenhouse gas emissions by anaerobic digestion of cattle slurry. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 112: 171-177.
- Cubasch, U., Wuebbles, D., Chen, D., Facchini, M.C., Frame, D., Mahowald, N. & Winther, J.-G. 2013: Introduction. Teoksessa: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P.M. (toim.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA.
- Eckard, R. J., Grainger, C. & de Klein, C. A. M. 2010. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science* 130: 47-56.
- Elsayed, M. A., Matthews, R. & Mortimer, N. D. 2003. Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuel Options. Loppuraportti hankkeseen "Carbon and Energy Balances for a Range of Biofuels Options". Sheffield, UK: Sheffield Hallam University. 341 s.
- Eriksson, I. S., Elmquist, H., Stern, S. & Nybrant, T. 2005. Environmental Systems Analysis of Pig Production - The Impact of Feed Choice. *The International Journal of Life Cycle Assessment* 10 (2): 143-154.

- Flysjö, A., Cederberg, C., & Strid, I. 2008. LCA-databas för konventionella fodermedel-miljöpåverkan i samband med produktion. Version 1.1. SIK rapport nr 772. 125 s.
- Gerber, P., Vellinga, T., Opio, C., Henderson, B. & Steinfeld, H. 2010. Greenhouse Gas Emissions from the Dairy Sector: A Life Cycle Assessment. A report by the Food and Agriculture Organization of the United Nations, Animals Production and Health Division. 98 s.
- Ha, N., Feike, T., Back, H., Xiao, H. & Bahrs, E. 2015. The effect of simple nitrogen fertilizer recommendation strategies on product carbon footprint and gross margin of wheat and maize production in the North China Plain. *Journal of environmental management* 163: 146-154.
- Hakala, K., Hannukkala, A. O., Huusela-Veistola, E., Jalli, M. & Peltonen-Sainio, P. 2011. Pests and diseases in a changing climate: a major challenge for Finnish crop production. *Agricultural and Food Science* 20: 3-14.
- Hakala, K., Nikunen, H., Sinkko, T. & Niemeläinen, O. 2012. Yields and greenhouse gas emissions of cultivation of red clover-grass leys as assessed by LCA when fertilised with organic or mineral fertilisers. *Biomass and Bioenergy* 46: 111-124.
- Hartmann, D.L., Klein Tank, A.M.G., Rusticucci, M., Alexander, L.V., Brönnimann, S., Charabi, Y., Dentener, F.J., Dlugokencky, E.J., Easterling, D.R., Kaplan, A., Soden, B.J., Thorne, P.W., Wild, M. & Zhai, P.M. 2013: Observations: Atmosphere and Surface. Teoksessa: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex V. & Midgley, P.M. (toim.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA.
- Hörtenhuber, S. J., Lindenthal, T. & Zollitsch, W. 2011. Reduction of greenhouse gas emissions from feed supply chains by utilizing regionally produced protein sources: the case of Austrian dairy production. *J Sci Food Agric* 91 (6): 1118-1127.
- IPCC 1996. *Climate Change 1995. The Science of Climate Change. Contribution of Working Group I to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press. 572 s.
- IPCC 2000a. Chapter 4. Agriculture. Teoksessa: Penman, J., Kruger, D., Galbally, I., Hiraishi, T., Nyenzi, B., Emmanuel, S., Buendia, Martinsen, T., Meijer, J., Miwa, K. & Tanabe, K. (toim.). *Good Practice Guidance Management in National Greenhouse Gas Inventories*. Hayama, Japan: the Institute for Global Environmental Strategies.

- IPCC 2000b. Summary for Policymakers: Emission Scenarios. A Special Report of IPCC Working Group III. Geneva, Switzerland: Intergovernmental Panel on Climate Change. 27 s.
- IPCC 2003. Chapter 3. LUCF Sector Good Practice Guidance. Section 3.3 Cropland. Teoksessa: Penman, J., Gytarsky, M., Hiraishi, T., Krug, T., Kruger, D., Pipatti, R., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. & Wagner, F. (toim.). Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry. Hayama, Japani: the Institute for Global Environmental Strategies.
- IPCC 2006. Volume 4. Agriculture, Forestry and Other Land Use. Teoksessa: Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (toim.). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Hayama, Japani: the Institute for Global Environmental Strategies.
- IPCC 2007. Summary for Policymakers. Teoksessa: Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor, M. & Miller, H.L. (toim.). Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA: Cambridge University Press
- Jylhä, K., Ruosteenoja, K., Räisänen, J., Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Ruokolainen, L., Saku, S. & Seitola T. 2009. Arvioita Suomen muuttuvasta ilmastosta sopeutumistutkimuksia varten. ACCLIM-hankkeen raportti 2009. Ilmatieteenlaitoksen raportteja 2009:4. Helsinki: Yliopistopaino. 114 s.
- Jyväskylän yliopisto 2013. Peltoenergiaan pohjautuvan biokaasun tuotannon tuotanto-
ketjun kestävyys – energiantase ja kasvihuonekaasupäästöt. ENKAT-projekti: Energiakasveihin pohjautuvan biokaasulaitoskonseptin teknis-taloudelliset edellytykset pohjoisissa olosuhteissa. Bio- ja ympäristötieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto. 38 s.
- Kirkinen, J., Minkkinen, K., Penttilä, T., Kojola, S., Sievänen, R., Alm, J., Saarnio, S., Silvan, N., Laine, J. & Savolainen, I. 2007. Greenhouse impact due to different peat fuel utilisation chains in Finland — a life-cycle approach. Boreal Environmental Research 12: 211-223.
- Lesschen, J. P., van den Berg, M., Westhoek, H. J., Witzke, H. P. & Oenema, O. 2011. Greenhouse gas emission profiles of European livestock sectors. Animal Feed Science and Technology 166–167: 16-28.
- Luonnonvarakeskus 2015. Viljelykasvien sato 2014. <http://www.maataloustilastot.fi/satotilasto>. Helsinki: Luonnonvarakeskus. Päivitetty 26.02.2015, tulostettu 27.3.2015.

- MMM 2014. Kansallinen ilmastomuutoksen sopeutumis suunnitelma 2022.
http://mmm.fi/documents/1410837/1516663/2014_5_Ilastonmuutos.pdf/1716aa76-8005-4626-bae0-b91f3b0c6396. Maa- ja metsätalousministeriö. Tulostettu 10.2.2016.
- Motiva 2014. CO₂-päästökertoimet. http://www.motiva.fi/taustatietoa/energian-kaytto-suomessa/co2-laskentaohje_energiankulutuksen_hiilidioksidipaastojen_laskentaan/co2-paastokertoimet. Helsinki: Motiva Oy. Päivitetty 1.4.2014, tulostettu 26.3.2015.
- MTT 2014. Sikojen rehutaulukko – koostumus ja sulavuustiedot. https://portal.mtt.fi/portal/pls/portal/rehu_mtt.rehu_mtt_sika_pack.report. MTT. Tulostettu 26.3.2015.
- Meale, S., McAllister, T., Beauchemin, K., Harstad, O. & Chaves, A. 2012. Strategies to reduce greenhouse gases from ruminant livestock. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section A–Animal Science* 62: 199-211.
- Mäkinen, T., Soimakallio, S., Paappanen, T., Pakkala, K. & Mikkola, H. 2006. Liikenteen biopolttoaineiden ja peltoenergian kasvihuonekaasutaseet ja uudet liiketointakonseptit. VTT Tiedotteita 2357. Helsinki: VTT. 176 s.
- Parry, M. L., Rosenzweig, C., Iglesias, A., Livermore, M. & Fischer, G. 2004. Effects of climate change on global food production under SRES emissions and socioeconomic scenarios. *Global Environmental Change* 14: 53-67.
- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K. & Ojanen, H. 2009. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science* 18: 171-190.
- Pipatti, R. 1997. Suomen metaani- ja dityppioksidipäästöjen rajoittamisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus. VTT Tiedotteita 1835. Espoo: VTT. 66 s.
- Pipatti, R., Tuhkanen, S., Mälkiä, P. & Pietilä, R. 2000. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt sekä päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus. VTT Julkaisuja 841. Espoo: VTT. 74 s.
- Porter, J.R., Xie, L., Challinor, A.J., Cochrane, K., Howden, S.M., Iqbal, M.M., Lobell, D.B., & Travasso, M.I. 2014. Food security and food production systems. Teoksessa: *Climate Change 2014: Field, C.B., Barros, V.R., Dokken, D.J., Mach, K.J., Mastrandrea, M.D., Bilir, T.E., Chatterjee, M., Ebi, K.L., Estrada, Y.O., Genova, R.C., Girma, B., Kissel, E.S., Levy, A.N., MacCracken, S., Mastrandrea, P.R., & White, L.L. (toim.). Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report*

- of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA: Cambridge University Press. s. 485-533.
- Przybylski, R., Mag, T., Eskin, N. & McDonald, B. 2005. Canola Oil. Teoksessa: Bailey's Industrial Oil and Fat Products. Winnipeg, Canada: University of Manitoba.
- Punter, G., Rickeard, D., Larivé, J-F., Edwards, R., Mortimer, N., Horne, R., Bauen, A. & Woods, J. 2004. Well-to-Wheel Evaluation for Production of Ethanol from Wheat. A Report by the LowCVP Fuels Working Group, WTW Sub-Group. Loka-kuu 2004. 40 s.
- Rajaniemi, M., Mikkola, H. & Ahokas, J. 2011. Greenhouse gas emissions from oats, barley, wheat and rye production. *Agronomy Research* 9: 189-195.
- Regina K., Lehtonen, H., Palosuo, T. & Ahvenjärvi S. 2014. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt ja niiden vähentäminen. MTT raportti 127. Jokioinen: MTT. 44 s.
- Risku-Norja, H. Kurppa, S. & Helenius, J. 2009. Impact of consumers' diet choices on greenhouse gas emissions. Teoksessa: Koskela, M. & Vinnari, M. (toim.). *Future of the Consumer society (Proceedings of the Conference "Future of the Consumer Society", 28–29 May 2009, Tampere, Finland)*. Turku: Finland Futures Research Centre. s. 159-170.
- Roer, A., Korsath, A., Henriksen, T. M., Michelsen, O. & Strømman, A. H. 2012. The influence of system boundaries on life cycle assessment of grain production in central southeast Norway. *Agricultural Systems* 111: 75-84.
- Rogner, H.-H., Zhou, D., Bradley, R., Crabbé, P., Edenhofer, O., Hare, B., Kuipers, L. & Yamaguchi, M. 2007. Introduction. Teoksessa: Metz, B., Davidson, O. R., Bosch, P. R., Dave, R. & Meyer, L. A. (toim.). *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA.
- Rosenzweig, C., Iglesias, A., Yang, X.B., Epstein, P.R. & Chivian, E. 2001. Climate change and extreme weather events: implications for food production, plant diseases and pests. *Global Change and Human Health* 2: 90-104.
- Rötter, R. P., Palosuo, T., Pirttioja, N. K., Dubrovsky, M., Salo, T., Fronzek, S., Aikasalo, R., Trnka, M., Ristolainen, A. & Carter, T. R. 2011. What would happen to barley production in Finland if global warming exceeded 4 °C? A model-based assessment. *European Journal of Agronomy* 35: 205-214.

- Sasu-Boakye, Y., Cederberg, C. & Wirsenius, S. 2014. Localising livestock protein feed production and the impact on land use and greenhouse gas emissions. *animal* 8: 1339-1348.
- Sinkko, T., Hakala, K. & Thun, R. 2010. Biopolttoaineiden raaka-aineeksi viljeltävien kasvien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt Suomessa. MTT raportti 9. Jokioinen: MTT. 42 s.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B. & Sirotenko, O. 2007: Agriculture. Teoksessa: Metz, B., Davidson, O. R., Bosch, P. R., Dave, R. & Meyer, L. A. (toim.). *Climate Change 2007: Mitigation. Contribution of Working Group III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom & New York, NY, USA.
- Smith, P., Martino, D., Cai, Z., Gwary, D., Janzen, H., Kumar, P., McCarl, B., Ogle, S., O'Mara, F., Rice, C., Scholes, B., Sirotenko, O., Howden, M., McAllister, T., Pan, G., Romanenkov, V., Schneider, U., Towprayoon, S., Wattenbach, M. & Smith, J. 2008. Greenhouse gas mitigation in agriculture. *Philosophical Transactions of the Royal Society B-Biological Sciences* 363: 789-813.
- Snyder, C. S., Bruulsema, T. W., Jensen, T. L. & Fixen, P. E. 2009. Review of greenhouse gas emissions from crop production systems and fertilizer management effects. *Agriculture, Ecosystems & Environment* 133: 247-266.
- Statistics Finland 2014. Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990-2012. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 526 s.
- TEM 2008. Pitkän aikavälin ilmasto- ja energiastrategia. Valtioneuvoston selonteko eduskunnalle 6. päivänä marraskuuta 2008. Työ- ja elinkeinoministeriö. 130 s.
- Tuomisto, H. L. & Helenius, J. 2008. Comparison of energy and greenhouse gas balances of biogas with other transport biofuel options based on domestic agricultural biomass in Finland. *Agricultural and Food Science* 17: 240-251.
- Vellinga, T. V., Blonk, H., Marinussen, M., van Zeist, W. J., de Boer, I. J. M. & Starman, D. 2013. Methodology used in FeedPrint: a tool quantifying greenhouse gas emissions of feed production and utilization. Report 674. Lelystad: Wageningen UR Livestock Research. 109 s.
- VTT 2009. Työkoneiden yksikköpäästöjen määrittämisperusteet. http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muut/tyokoneet/maarityisperusteet_tk.htm. Espoo: VTT. Päivitetty 16.9.2009, tulostettu 26.3.2015.

- VTT 2012a. LIISA 2012. Suomen tieliikenteen pakokaasupäästöjen laskentajärjestelmä. <http://lipasto.vtt.fi/liisa/co2s.htm>. Espoo: VTT. Tulostettu 26.3.2015.
- VTT 2012b. Työkoneiden keskimääräinen päästö polttoainelitraa kohden Suomessa vuonna 2011. http://lipasto.vtt.fi/yksikkopaastot/muut/tyokoneet/diesel_a_k.htm. Espoo: VTT. Päivitetty 25.4.2012, tulostettu 26.3.2015.
- van der Werf, H. M. G., Petit, J. & Sanders, J. 2005. The environmental impacts of the production of concentrated feed: the case of pig feed in Bretagne. *Agricultural Systems* 83: 153-177.
- Williams, A. G., Audsley, E. & Sandars, D. L. 2006. Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities. Main Report. Defra Research Project IS0205. Bedford: Cranfield University and Defra. 97 s.
- Yara 2014. Calculation of Carbon Footprint of Fertilizer Production. http://www.yara.com/doc/122597_2013_Carbon_footprint-of_AN_Method_of_calculation.pdf. Yara Oy. Julkaistu 10.1.2014, tulostettu 26.3.2015.

Eläintuotannon tietojen syöttöruutu

[illegible]

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240	241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260	261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340	341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360	361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400	401	402	403	404	405	406	407	408	409	410	411	412	413	414	415	416	417	418	419	420	421	422	423	424	425	426	427	428	429	430	431	432	433	434	435	436	437	438	439	440	441	442	443	444	445	446	447	448	449	450	451	452	453	454	455	456	457	458	459	460	461	462	463	464	465	466	467	468	469	470	471	472	473	474	475	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485	486	487	488	489	490	491	492	493	494	495	496	497	498	499	500	501	502	503	504	505	506	507	508	509	510	511	512	513	514	515	516	517	518	519	520	521	522	523	524	525
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Eläintuotannon tulosruutu

[illegible]

Yhteenvetoruutu

